

• 专 论 •

中药浸膏干燥工艺现状及存在的问题分析

詹娟娟¹, 伍振峰^{1*}, 尚悦², 王学成¹, 岳鹏飞¹, 王雅琪¹, 臧振中¹, 杨明^{1*}

1. 江西中医药大学, 创新药物与高效节能降耗制药设备国家重点实验室, 江西 南昌 330004

2. 国家药典委员会, 北京 100000

摘 要: 中药浸膏是中药制剂的重要中间体, 其干燥工艺是中药制药过程的关键环节之一, 直接影响着药品的质量。干燥新技术的发展应用是中药制造工业技术转型升级的关键, 关系着中药现代化的进程。通过文献调研分析统计, 综述了目前中药浸膏常用干燥方式的研究现状, 分析总结了浸膏干燥工艺的相关特性、适应范围等, 探讨了其在推广使用中存在的一些问题, 并提出了相应的对策, 在此基础上对不同特性中药浸膏所适合的干燥方式进行了总结, 最后阐述了我国中药浸膏干燥发展新趋势, 为研究并开发适用于中药浸膏的高效干燥技术提供有益参考, 并为相关设备的优化升级提供新思路。

关键词: 中药浸膏; 喷雾干燥法; 真空带式干燥法; 微波干燥法; 问题分析; 评价体系

中图分类号: R283.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-2670(2017)12-2365-06

DOI: 10.7501/j.issn.0253-2670.2017.12.001

Current situation of drying methods for Chinese materia medica extract and analysis on existential problem

ZHAN Juan-juan¹, WU Zhen-feng¹, SHANG Yue², WANG Xue-cheng¹, YUE Peng-fei¹, WANG Ya-qi¹, ZANG Zhen-zhong¹, YANG Ming¹

1. State Key Laboratory of Innovation Drug and Efficient Energy-Saving Pharmaceutical Equipment, Jiangxi University of Traditional Chinese Medicine, Nanchang 330004, China

2. National Pharmacopoeia Commission, Beijing 100000, China

Abstract: The Chinese materia medica extract (CMME) is an important intermediate for the CMM preparation, and the drying process is a key link in the pharmaceutical process of CMM and has a direct impact on the quality of the drug. The development of new drying technology is the key point of the industry technology transformation and upgrading about traditional Chinese medicine manufacturing, and plays an important role in the process of modernization of CMM. In this paper through the literature research statistical analysis, the current research situation of the CMME common drying methods were reviewed, the characteristics and adapt scope of commonly used extract drying technology were analyzed and summarized, some of the problems which exist in the promotion of the CMME drying technology were discussed and the corresponding countermeasures were put forward. Then, the suitable drying technology for different CMMEs were summarized. Finally, the paper illustrates the drying CMME development trend in China. This paper provides a useful reference for the research and development applied to medicine extract efficient drying techniques, and provides new ideas for the optimization and upgrading of related equipment.

Key words: Chinese materia medica extract; spray drying method; vacuum belt drying method; microwave drying method; problem analysis; evaluation system

中药浸膏的干燥工艺是制剂生产中不可缺少的一道重要工序, 干燥工艺的优劣将直接影响产品的性能、质量、外观和成本。由于中药浸膏通常具有黏度大、含糖量高、透气性差等特性, 普通加热方

收稿日期: 2016-12-23

基金项目: 国家自然科学基金面上项目 (81673613)

作者简介: 詹娟娟 (1992—), 女, 在读硕士研究生, 研究方向为中药制剂新工艺、新技术与新剂型。

Tel: (0791)87119032 E-mail: 15570370525@163.com

*通信作者 伍振峰 (1982—), 男, 博士, 副教授, 研究方向为中药新剂型与新技术/中药制药工艺与装备研究。

Tel: (0791)87119032 E-mail: zfwu527@163.com

杨明 (1962—), 男, 教授, 博士生导师。Tel/Fax: (0791)87118658 E-mail: lab215@163.com

式通常需要在较高温度下长时间干燥才能达到效果。传统的中药浸膏干燥方法存在干燥时间长、干燥温度高、干燥产品品相差、能耗高和生产效率低等缺点^[1]。喷雾干燥、真空干燥由于其各自的特点而在中药浸膏干燥方面得到了较为广泛的应用。真空带式干燥技术是一种适合中药浸膏的新型干燥方法,设备能实现真空状态下连续进料、出料,使传统的静态干燥转化为真空动态干燥,大大节约了干燥工时,克服了传统干燥方式浸膏粘壁、干燥时间长导致有效成分损失的缺陷。真空带式干燥由于其干燥温度低、时间短、有效成分损失少等优点,已逐渐在中药生产中推广应用^[2-4]。在企业生产应用中,由于中药浸膏成分的复杂性和特殊性,其干燥方式的选择也存在差异性。本文从中药浸膏干燥相关法规标准及政策引导入手,对当前中药浸膏干燥研究现状和存在问题进行总结分析,阐述了如何根据中药浸膏的性质来选择合适的干燥工艺,为浸膏干燥方式的选择提供有益参考。

1 中药浸膏干燥相关法规标准及政策引导

2016 年 8 月,国家食药监总局发布《关于开展药品生产工艺核对工作的公告(征求意见稿)》,要求药品生产企业对每个批准上市药品的生产工艺(中药为制法)开展自查,自查内容为药品的实际生产工艺与报经食品药品监管部门批准的生产工艺是否一致。继药物临床试验数据、药品流通领域的监管进行严格的检查后,药品生产工艺也迎来了最严格的自查。药品生产工艺是持续稳定地生产出合格药品的过程和方法,按照监管部门批准的生产工艺组织生产是保障药品质量的前提。而中药浸膏干燥工艺作为制剂生产中不可缺少的一道重要工序,其操作规范性和重要性更是不容忽视。《药品生产质量管理规范》(GMP)的指导思想在于对药品生产过程的控制管理,以达到药品是安全的、有效的。新版 GMP 要求:(1)中药提取液浓缩、收膏工序宜采用密闭系统进行操作,并在线进行清洁,以防止污染和交叉污染。采用密闭系统生产的,其操作环境可在非洁净区;采用敞口方式生产的,其操作环境应当与其制剂配制操作区的洁净度级别相适应。(2)浸膏的配料、粉碎、过筛、混合等操作,其洁净度级别应当与其制剂配制操作区及洁净度级别一致。(3)中药浸膏干燥设备的进风口要有过滤装置,出风口要有防止倒流装置。(4)干燥设备应按照生产工艺流程合理布置。生产企业应根据本企业中药

产品的特点,选择合适的干燥设备。

中药浸膏作为中药制剂的重要中间体,其工艺规范性显得尤为重要。根据《已上市中药变更研究技术指导原则》(简称《指导原则》)可知,减压干燥改为微波干燥等特殊干燥方法时,属于生产工艺 III 类变更。此类变更可能会引起药用物质基础的明显改变,或对药物的吸收、利用可能产生明显影响。此类变更一般需进行全面的研究和验证工作,研究工作可按照《指导原则》总体要求中阐述的基本思路和方法进行,除 II 类变更相关工作外,尚可根据需要进行相关的药理毒理实验研究,及 II、III 期临床试验或生物等效性研究进行。一般而言,生产工艺发生变更后,应说明具体的变更情况(包括完整的生产工艺及过程控制情况),通过分析产品特性,如处方组成、适应症、临床使用等情况,既往药品注册阶段以及实际生产过程中的研究和积累的数据,全面分析和评估变更对药用物质基础、质量及稳定性等方面的变化,以及此种变化对药物有效性、安全性方面的影响,并按照《指导原则》中要求较高的变更类别进行相关研究工作。

2 中药浸膏干燥研究现状

中药浸膏的传统干燥方法主要有鼓风烘箱干燥和普通真空干燥,在多糖量较高时,其黏性大和透气性差,故干燥温度一般要达到 80 ℃ 以上才能达到较好的干燥效果,除此之外,传统干燥方法还存在干燥时间长、能耗高、生产效率低以及产品品质差的缺点。目前,中药浸膏干燥方式主要有真空干燥箱干燥、喷雾干燥、微波干燥和真空带式干燥 4 种方式,随着中药制药设备的发展,真空干燥箱干燥和喷雾干燥技术广泛用于中药浸膏的干燥,取得了一定的进展^[5-6],但对多糖量较高的浸膏进行干燥时,仍因各品种浸膏特性的不同而存在较多的技术难题。微波干燥技术是一种新型干燥技术,有良好的应用前景,但研究起步较晚,存在干燥过程难控制的缺点^[7];真空带式干燥是近年来兴起的一种连续进料、连续出料形式的接触式真空干燥方式,其对黏度较高、热敏性强、易氧化的中药浸膏具有较好的干燥效果^[8-10],且由于其干燥温度低、时间短、有效成分损失少等优点,已逐渐在中药生产中推广应用。本文将对各浸膏干燥方式特性及问题分析进行综述。

2.1 真空干燥箱干燥

真空干燥箱是制药行业中使用十分普遍的一种

干燥设备,即使今天有了许多干燥新技术和新设备,但真空干燥箱仍被广泛地应用在原料药和制剂生产中。真空干燥箱是一种静态干燥设备,不适应大规模工业干燥,适应中小规模和多品种的轮换使用,灵活机动,相比于其他干燥方法,该法存在干燥时间长、有效成分损失大、干膏互相粘连、难粉碎等缺点。鉴于以上缺点,沈善明等^[11-16]对真空干燥箱进行了一系列的改进和开发,先后研发出高效热敏真空干燥箱、单筒式药品真空干燥箱、车架式药品真空干燥箱、无料盘式药品真空干燥箱、连续真空浸膏干燥机和直通式无料盘真空干燥箱,经过一系列的改进之后,解决了药品真空干燥箱长期无法彻底清洗等困扰,且其适应范围也更广泛,受到了部分制药企业的青睐,使开发者深受鼓舞。但是真空干燥箱热利用率较低、干燥时间长、干燥后浸膏仍需二次粉碎。

2.2 喷雾干燥

喷雾干燥是利用雾化器将料液分散为细小的雾滴,并在热干燥介质中迅速蒸发溶剂形成干粉产品的过程。喷雾干燥能直接使溶液、乳浊液、悬浮液干燥成粉状、颗粒状、空心球或团粒状制品,可省去蒸发、分离、粉碎等工序,已成为中药生产中较为常用的干燥方法,广泛应用于中药浸膏干燥中。由于其干燥效率高,对有效成分破坏少,所得浸膏粉均匀、细腻、含水量低且浸膏粉溶解性好又适合工业化大生产而越来越广泛地被用于中药浸膏的干燥,其瞬时干燥为中药浸膏提供了卫生、方便的干燥途径,并为保持药物的有效成分和保证药品的疗效提供了保障。该技术简化并缩短了中药浸膏到制剂成品的工艺和时间,提高了生产效率和产品质量^[17]。吴晓宁等^[18]对金耳多糖浸膏进行了喷雾干燥的工艺研究,该研究以干燥后药粉的含水量为考察指标,对影响喷雾干燥的因素进行考察,确定最佳喷雾干燥工艺,实验结果表明,以喷雾干燥法制得的药粉在外观及有效成分量上均优于其他干燥方法,且喷雾干燥过程快,有效减少了工序造成的损失,且在设备投资与操作运行费方面更为经济^[19],适合于大生产。黄延年等^[20]应用喷雾干燥法制备蓝靛果花色苷粉末,药粉颗粒度小而均匀,有很好的分散性和速溶性,药粉含水量为 3.98%,较其常用干燥方法真空冷冻干燥法含水量降低 1.23%。

喷雾干燥是直接提取液变成干粉,干燥快、连续作业^[21]。其缺点是所得浸膏粉过细而非颗粒

状,浸膏容易吸收水分,使产品不稳定,且在干燥过程中易出现粘壁、黏结、粉末吸湿结块等现象,常造成部分炭化、有效成分受热损失、热损失及动力消耗大、设备清洗困难等问题,使喷雾干燥操作中,严重影响生产效率,为此需要进一步对中药喷雾干燥机制及设备进行深入研究和改进。

2.3 微波干燥

微波干燥的基本原理是依据介质损耗原理,915 MHz 的微波可使水分子运动达 18.3 亿次/s,致使分子急剧摩擦、碰撞,使物料产生热化和膨化等一系列过程而达到加热目的^[22]。我国微波干燥技术的研究起步较晚,其应用始于 20 世纪 70 年代初期。由于微波所具有的特性,使微波真空干燥具有加热均匀、干燥速度快、干燥效率高、产品质量好并兼有灭菌功能等优点^[23-28],目前被广泛应用于中药材、中药提取物、浸膏、散剂、丸剂、胶囊剂、片剂等的干燥。杨胤等^[29]通过比较喷雾干燥、真空干燥、冷冻干燥及微波干燥对益母浸膏粉、复方板蓝大青浸膏粉及肾石通浸膏粉物理性质的影响,发现微波干燥产物的吸湿性均最小。王莹等^[30]将同批地黄叶浸膏分别进行真空烘箱干燥、真空带式干燥、冷冻干燥、喷雾干燥和微波真空低温干燥,研究结果表明,微波真空低温干燥和真空带式干燥 2 种方法所得干燥产物具有含水率低、有效成分保留率高等优点。但真空带式干燥设备占地面积大、成本较高,且微波真空低温干燥法还具有干燥时间最短、干燥产物色泽较浅、收率高等优点。刘砚墨等^[31]研究了微波真空低温干燥黏稠赤芍浸膏的最佳工艺条件,结果表明微波真空低温干燥所得干燥产品含水率低、有效成分保留率高,是适用于赤芍浸膏的干燥方式。

微波干燥在中药领域中的应用越来越广泛,但并不是所有的中药材都适合用微波干燥法来干燥,如富含挥发性或热敏性成分的中药材、含大量淀粉、树胶的天然植物都不适合使用微波干燥^[32]。微波干燥应用于提取物和浸膏干燥时,在干燥速度上具有明显优势,但也容易产生有效成分损失的问题,李慧等^[33]比较了不同干燥方法对甘草醇提取物中甘草苷量的影响,发现微波干燥法虽然操作和控制都很方便,具有干燥速度快、加热均匀等优点,但甘草苷量损失 40%。针对微波干燥中存在易使有效成分损失等缺点,可以通过优选功率和干燥时间等工艺条件^[34]来加以改进,或应用联合干燥来克服这些不足。此外,微波干燥作为一种新的干燥方式,目前,

在企业生产过程中存在工艺是否合规的问题,即工艺变更需要报补充申请,且一般来说,由真空干燥变更为微波干燥被认定为 III 类变更。

2.4 真空带式干燥

真空带式干燥技术是近几年来在我国食品、精细化工、保健品和制药行业兴起的一项新技术,可以解决中药行业中长期以来中药浸膏难以干燥的问题,如丹参、复方丹参、川芎、当归、穿心莲、灵芝、苦参、人参、刺五加等^[8]。真空带式干燥是一种采取连续进料、连续出料形式的接触式真空干燥方式,相比其他干燥方式,其具备以下优点:料层薄、干燥快、物料受热时间短;环境密闭,动态操作,不易结垢;物料松脆,容易粉碎;隔离操作,避免污染,自动化程度高。真空带式干燥的适应范围广,对于绝大多数的天然植物的提取物,都可以适用,尤其对于黏性高、易结团、热塑性、热敏性的物料,不适宜或者无法采用喷雾干燥的物料,用真空带式干燥是最佳选择。而且,可以直接将浓缩浸膏送入真空带式干燥机进行干燥,无需添加任何辅料,这样可以减少最终产品的用量,提高产品档次,同时,在高真空度状况下干燥,干燥温度较低,有利于保持浸膏的原色原味。在生产穿心莲干浸膏过程中,传统的干燥方法是用喷雾干燥和箱式真空干燥 2 种方法,这 2 种方法干燥的干浸膏在贮存或制剂过程中极易吸收水分,并结坚硬团块而不易打碎,这是穿心莲原料和制剂生产厂家在生产过程中经常遇到的难题。为解决穿心莲提取物在生产中易出现吸收水分、结团成块的难题,殷竹龙等^[35]探讨了带式真空干燥机在穿心莲浸膏干燥中的应用,研究发现穿心莲浸膏经带式真空干燥后,粉碎的粉末呈 3~5 mm 颗粒状,不易吸收水分和结团,生产时间短,产量高,损耗率低,在线清洗方便。锆景希等^[36]探讨了川芎浸膏真空带式干燥工艺,实验结果表明,影响干膏含水量的关键工艺参数是进料速度、履带速度、加热区温度,通过 3 批中试实验验证,干膏的含水量、阿魏酸的量均稳定,物料受热时间短、干燥快、松脆,容易粉碎,表明该干燥工艺是切实可行的。浸膏在全程真空状态下完成干燥粉碎制粒工艺,减少工艺污染环节及吸潮机会,提高了产品的品质,符合 GMP 的要求。刘雪松等^[2]对比研究了喷雾干燥、真空冷冻干燥和真空带式干燥对三七中 5 种主要的皂苷成分的影响,结果显示,三七中 5 种主要的皂苷成分经过真空带式干燥后量基本

未发生变化,有效成分的收率高于喷雾干燥和真空冷冻干燥,且真空带式干燥产品的含水率低于其他 2 种方法。

真空带式干燥设备用于中药浸膏干燥时,具有自动化程度高、干燥温度低、操作环境封闭、连续化生产等优点^[37],具有广阔的产业前景,但与德国、瑞士、日本等国的真空带式干燥技术^[38]比较仍有很大差距。由于中药成分复杂,真空带式干燥设备动态控制参数多,缺乏成熟的调试方法,往往花费较长时间才能确定工艺参数,而且常常不能得到优化的工艺参数,且还存在设备占地面积大、造价高、投资大等不足,大大阻碍了真空带式干燥技术在中药企业的推广应用。因此,研究开发真空带式干燥过程的优化技术、辨识工艺参数之间的复杂关系和降低带式干燥设备的制造成本是影响其大量推广应用的关键问题。

3 中药浸膏干燥相关问题分析

3.1 建立完善的干燥工艺规范及评价体系

中药品种繁多,成分复杂多样,尽管上述研究取得了一定进展,但参与实验的品种较少,没有形成普遍认可的技术标准。中药浸膏干燥评价体系中,除考察中药浸膏干燥产品的含水率、有效成分的量 and 干燥速率外,与干燥产品质量相关的其他指标也应该得到重视,如干燥产品的色泽、浸膏粉体的孔隙率、溶散时限等。因此,针对不同中药品种,不断深入研究浸膏生产过程与干燥工艺之间的联系,开发相关计算机软件系统,模拟相关实验步骤,从而研究加热温度、料液性质、冷却温度、真空度、履带速度等工艺参数与干燥产品质量之间的关系,建立标准化、模块化的干燥工艺,将有助于简化不同品种中药浸膏的工艺优化过程,建立完善的干燥工艺规范,提高干燥技术的控制水平,进而获得稳定的高质量干燥产品,加之自动监测技术、在线检测技术的逐步实现,中药浸膏干燥工艺将会更加规范和完善。

3.2 干燥工艺对浸膏性质的影响机制有待深入研究

干燥是中药浸膏形成的关键环节之一,已有大量研究证明不同干燥方法与工艺会导致中药浸膏性质的改变,但其影响机制尚不明确。因此,加强中药浸膏干燥机制的研究,综合分析浸膏微观内部结构(多孔结构、孔隙度、孔隙分布、孔隙的连通性)、表面化学成分分布、化学成分的存在状态(水化物、溶剂化物、晶体、无定形)以及化学结合力(配位

键、氢键、传荷络合物、范德华引力) 等对浸膏物理性质的影响, 对于合理选择中药浸膏干燥方法具有指导意义。

3.3 完善干燥设备体系为后盾

中国通用机械工业协会干燥设备协会指出, 需以完善的干燥设备体系作为后盾。我国干燥设备行业走上良性发展道路, 首先要加快建立标准体系。企业应该对自己产品的质量标准有很高的要求, 这样才能形成良性的发展。其次, 设备本身结构的升级。企业在设计制造干燥设备时, 要充分考虑到设备与工艺的结合, 要根据物料的性质来确定设备结构。最后, 企业要有一定的规模和技术水平。长期以来, 我国干燥设备行业一直有生产规模小、入门门槛低、低水平重复模仿及整体技术含量不高的问题。如今, 高科技含量产品正在催生一批龙头干燥设备企业。随着市场需求的变化, 国内大型干燥设备行业竞争格局将被打破, 产品技术水平提高很快, 与国外产品相比, 差距将越来越小, 我国药品干燥设备行业的发展进步, 受到世界同行的高度重视。今后几年, 国内干燥设备的需求量还在不断上升, 但是如何根据中药的特点, 将制药工艺与设备融合, 研究高效、低碳、适宜性好的干燥设备仍是干燥设备行业的重点任务。行业需要坚持走绿色发展之路, 不断加强与自动化、智能化的融合, 才能使干燥行业整体受益。

3.4 根据中药浸膏性质合理选择干燥工艺

中药浸膏除含有效成分外, 还含有一定量的鞣质、蛋白质、胶类、糖类和树脂等成分, 由于中药成分的多样性和复杂性, 不同性质和成分的中药浸膏应选择适宜的干燥方式。且随着对药品质量的要求不断提高, 在优选干燥工艺时, 除对成型性和含水量进行常规检查外, 还应考虑理化指标和含量指标是否能达到规定要求。因此在对中药浸膏进行研究时, 应确认其是否含有热敏性有效成分, 评估干燥损失对产品质量的影响, 同时研究药液黏性随浓度、温度变化的规律, 再结合实际情况对干燥工艺进行合理的选择。然而, 在中药浸膏生产中, 有时用单一形式的干燥设备干燥物料可能达不到相关质量要求, 因此, 可以考虑采用多种干燥工艺组合对浸膏进行干燥, 目前常用的组合干燥方式有喷雾-流化床干燥、喷雾冷冻干燥等。

4 结语与展望

中药浸膏干燥是中药制药过程的关键环节之

一, 干燥工艺的合理性与药品品质密切相关, 干燥新技术、新装备的发展是中药制造工业技术转型升级的重点, 关系着中药现代化的进程。适合中药浸膏的干燥方式和设备种类繁多, 但较为常用的有真空干燥箱干燥、喷雾干燥、微波干燥及真空带式干燥等方法, 各种方法都有其优缺点及适用范围, 应根据中药浸膏的不同用途和性质来筛选最适合的干燥方法。因此, 了解并掌握中药浸膏的性质以及不同干燥方式和工艺的特点, 对于合理选择、使用和改进现有中药浸膏干燥设备和工艺是非常重要的。合理的工艺既能减少干燥过程中有效成分的损失, 有效地保障产品质量, 同时也能节约能耗、提高效率及降低成本。

随着新型干燥技术及装备的开发应用, 人们对中药浸膏干燥品质的提高、能耗的降低、操作的可靠性都提出了更高的要求, 在坚持绿色发展的同时, 将干燥工艺与设备的高效化、自动化与智能化作为优先发展方向, 为真正实现创新驱动、智能转型、强化基础、绿色发展而努力。同时, 充分发挥各项干燥技术的特点, 各尽所长, 必要时互相配合, 向集成化与模块化的模式发展。在国家政策导向方面, 促进基础研究向有转化应用价值方向发展, 避免重复性、低水平性研究, 立足于应用, 创新引领, 使基础研究的成果不断向应用转化, 多维衡量研究成果与研究价值。随着科学技术水平的不断发展, 中药行业的浸膏干燥设备水平也在不断提高, 新的干燥技术层出不穷, 这必定会推动中药行业朝着更广阔的方向发展, 加快实现我国中药现代化的进程。

参考文献

- [1] 邱志芳, 陈 勇, 王龙虎, 等. 中药浸膏干燥技术研究进展 [J]. 世界科学技术—中医药现代化, 2008, 10(2): 122-126.
- [2] 刘雪松, 邱志芳, 王龙虎, 等. 三七浸膏真空带式干燥工艺研究 [J]. 中国中药杂志, 2008, 33(4): 385-388.
- [3] 黄子健. 黄芪胶囊真空带式干燥工艺的研究 [J]. 现代食品与药品杂志, 2007, 17(5): 16-17.
- [4] 锶景希, 彭中芳, 刘声波. 川芎浸膏真空带式干燥工艺研究 [J]. 中药新药与临床药理, 2009, 20(5): 477-479.
- [5] 殷建军. 中药浸膏干燥技术简析 [J]. 机电信息, 2010, 23(8): 46-48.
- [6] 万治明, 李春莲. 浅谈干燥方式对葛根提取物药剂学性质的影响 [J]. 中国药物经济学, 2014, 9(1): 298-299.
- [7] 王永周, 陈 美, 邓维用, 等. 我国微波干燥技术应用研究进展 [J]. 干燥技术与设备, 2008, 6(5): 219-223.

- [8] 董德云, 关 健, 金日显, 等. 带式真空干燥技术在中药浸膏干燥过程中的研究和应用 [J]. 中国实验方剂学杂志, 2012, 18(13): 310-313.
- [9] 武景路, 于国江, 王月辉, 等. 正交试验优化人参提取物带式干燥工艺的研究 [J]. 现代药物与临床, 2014, 29(1): 45-47.
- [10] 田守生, 胡永水, 张 淹, 等. 两种干燥工艺对骨龙胶囊提取物中薯蓣皂苷的影响 [J]. 中成药, 2013, 35(4): 858-860.
- [11] 沈善明, 黄焕祥. 高效热敏真空干燥箱的开发和应用 [J]. 医药工程设计, 1995(6): 3-5.
- [12] 沈善明, 戴季煌. 罩筒式药品真空干燥箱的技术开发 [J]. 医药工程设计, 1997(4): 6-7.
- [13] 沈善明. 车架式药品真空干燥箱开发 [J]. 医药工程设计杂志, 2000, 21(4): 146-148.
- [14] 沈善明, 黄焕祥. 无料盘式药品真空干燥箱开发 [J]. 医药工程设计杂志, 2001, 22(3): 3-5.
- [15] 沈善明, 谢敏琴. 连续真空浸膏干燥机 [J]. 医药工程设计, 2006, 27(4): 4-7.
- [16] 沈善明. 直通式无料盘真空干燥箱和中药浸膏颗粒真空干燥 [J]. 医药工程设计, 2008, 29(2): 1-3.
- [17] 耿 焰, 陶建生. 喷雾干燥技术及其在中药制剂中的应用 [J]. 中成药, 2004, 26(1): 66-68.
- [18] 吴晓宁, 熊耀康. 金耳多糖浸膏喷雾干燥工艺研究 [J]. 中国药业, 2008, 17(17): 37-38.
- [19] 严东红. 喷雾干燥—精品肝素生产的新工艺 [J]. 中国生化药物杂志, 1997, 18(2): 91-92.
- [20] 黄延年, 刘 婵, 冯 波, 等. 喷雾干燥法制备蓝靛果花色苷粉末工艺 [J]. 食品工业科技, 2014, 35(8): 286-289.
- [21] 徐成海, 张世伟, 关奎之. 真空干燥 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2003.
- [22] 郭胜利, 张宝林. 微波干燥技术的应用进展 [J]. 河南化工, 2002(4): 1-3.
- [23] 陈德经. 干燥方法对金银花的质量影响研究 [J]. 食品科学, 2006, 27(11): 277-279.
- [24] 曹 艳, 范彦博, 韩林涛, 等. 不同干燥方法对香菇多糖提取物品质的影响 [J]. 中国医院药学杂志, 2009, 29(23): 1989-1991.
- [25] 张永萍, 徐 剑, 黄燕琼. 微波真空干燥对中药有效成分的影响 [J]. 中成药, 2007, 29(3): 439-440.
- [26] 杨俊红, 张恒春, 邸倩倩, 等. 不同干燥方法对黄芪提取物品质的影响 [J]. 干燥技术与设备, 2007, 5(5): 225-229.
- [27] 鞠兴荣, 汪海峰. 微波干燥对银杏叶中有效成分的影响 [J]. 食品科学, 2002, 23(12): 56-58.
- [28] 孙丽娟, 崔政伟. 微波真空干燥高黏度的灵芝浓缩液 [J]. 干燥技术与设备, 2006, 4(1): 36-38.
- [29] 杨 胤, 冯 怡. 干燥工艺与中药提取物物理性质的相关性研究 [J]. 中国药学杂志, 2008, 43(17): 1295-1299.
- [30] 王 莹, 李页瑞, 王 翔, 等. 地黄叶浸膏微波真空低温干燥工艺优化 [J]. 食品科学, 2011, 32(6): 104-109.
- [31] 刘砚墨, 李页瑞, 陈 勇, 等. 多指标综合评分法优选赤芍浸膏微波真空低温干燥工艺 [J]. 中药材, 2010, 33(9): 1497-1500.
- [32] 中药质量控制与质量评价 [S]. 2016.
- [33] 李 慧, 陈宝田. 不同干燥方法对甘草醇提物中甘草含量的影响 [J]. 南方医科大学学报, 2008, 28(6): 924-925.
- [34] Mitra P, Meda V. Optimization of microwave-vacuum drying parameters of Saskatoon berries using response surface methodology [J]. *Dry Technol*, 2009, 27(10): 1089-1096.
- [35] 殷竹龙, 朱国琼, 陈跃飞, 等. 带式真空干燥技术在穿心莲浸膏干燥中的应用 [J]. 现代中药研究与实践, 2007, 21(6): 57-59.
- [36] 锶景希, 彭中芳, 刘声波. 川芎浸膏真空带式干燥工艺研究 [J]. 中药新药与临床药理, 2009, 20(5): 477-479.
- [37] Ferrari F. Continuous vacuum drying: The alternative for careful product handling [J]. *Innovat Food Sci Emerg Technol*, 2002, 3(4): 26.
- [38] Hayashi H. Continuous vacuum drying equipment offoods [J]. *Japan Dairyand Food Sci*, 1982, 31(6): 295.