

热泵干燥技术在中药材初加工中的应用综述

黄玉龙^{1,2}, 吕 斌^{1,2}, 孙若诗^{1,2}, 庞中存^{1,2}, 康三江^{1,2}, 张 芳^{1,2}

(1.甘肃省农业科学院农产品贮藏加工研究所, 甘肃 兰州 730070; 2.甘肃省果蔬贮藏加工技术创新中心, 甘肃 兰州 730070)

摘要: 介绍了热泵干燥技术的原理以及热泵干燥技术高效节能、易于控制、可调节范围广、效率高、污染小等优点, 从热泵设备的改进、干燥工艺优化、物料的品质控制、能效利用优势、多种干燥方式联合应用等方面进行总结了热泵干燥技术在中药材初加工过程中的应用现状。

关键词: 热泵; 干燥; 中药材; 初加工

中图分类号: R282.4

文献标志码: A

文章编号: 1001-1463(2019)09-0086-04

doi: 10.3969/j.issn.1001-1463.2019.09.019

随着国家对中医药领域的不断扶持和人们保健理念的增强, 中医药事业进入发展新时代, 中药需求量也持续增长。据统计, 2017 年, 我国中药工业总产值为 8 442 亿元, 中药材进出口总数量为 31.45 万 t, 进出口总额为 14.00 亿美元, 中医药已传播到 183 个国家和地区。高品质的中药材是中医

药高质量发展的基础, 同时也对中药材的生产加工环节提出了更高的要求。植物类中药材含水量普遍较高, 在采收后的产地初加工环节, 由于工艺技术落后、干燥设施简陋, 以自然晾晒或作坊式土烘房干燥为主, 造成烘干效率低, 药材有效成分破坏严重, 容易受天气和环境因素影响而腐

收稿日期: 2019-05-08

基金项目: 国家自然科学基金项目 (31460399); 甘肃省农牧厅科技项目 (GNKJ-2018-11); 甘肃省农业科学院重点研发计划 (2019GAAS20)。

作者简介: 黄玉龙(1980—), 男, 甘肃武威人, 副研究员, 主要从事农产品加工与综合利用工作。Email: huangyulong@gsagr.ac.cn。

通信作者: 张 芳(1977—), 女, 陕西商南人, 副研究员, 主要从事果蔬及中药材的干制加工工作。Email: 513505089@qq.com

- Mode of pancreatic lipase inhibition activity in vitro by some flavonoids and non-flavonoid polyphenols[J]. Food Research International, 2015, 75: 289-294.
- [35] SOHN H Y, SON K H, KWON C S, et al. Antimicrobial and cytotoxic activity of 18 prenylated flavonoids isolated from medicinal plants: *Morus alba* L., *Morus mongolica* Schneider, *Broussonetia papyrifera*(L.) Vent, *Sophora flavescens* Ait and *Echinosophora ko-reensis* Nakai[J]. Phytomedicine, 2004, 11 (7/8): 666-672.
- [36] STEVEN K, CLINTON M D. Lycopene: Chemistry, biology, and implications for human health and disease[J]. Nutrition Reviews, 1998, 56(2): 35-51.
- [37] 米 佳, 禄 璐, 戴国礼, 等. 枸杞色泽与其类胡萝卜素含量和组成的相关性[J]. 食品科学, 2018, 39(5): 81-86.
- [38] 罗 青, 米 佳, 张林锁, 等. 枸杞及不同果蔬中类胡萝卜素含量及抗氧化活性研究[J]. 食品研究与开发, 2015(24): 39-42.
- [39] WANG C C, CHANG S C, INBARAJ B S, et al. Isolation of carotenoids, flavonoids and polysaccharides from *Lycium barbarum* L. and evaluation of antioxidant activity[J]. Food Chemistry, 2010, 120: 184-192.

(本文责编: 杨 杰)

烂变质,严重影响中药材品质。因此中药材采收后必须及时干制加工,将水分含量控制在合理范围内,既保证正常存储,又维持其有效成分的稳定性,以便提高中药制品的质量。目前,热泵干燥由于其节能高效、烘干除湿等优良性能,在药材加工企业普遍得到推广。

1 热泵干燥技术原理

热泵干燥系统主要由 3 部分组成,分别是热泵系统、物料干燥室、供气系统,其中热泵系统主要有蒸发器、冷凝器、压缩机和膨胀阀等,供气系统主要有风机和管道。热泵干燥系统根据逆卡诺循环原理进行工作,消耗少量的电能驱动热泵,压缩机将工质压缩成为高温高压的气体进入冷凝器,在冷凝器里工质液化释放出高温热量,为干燥系统提供热能;而冷凝后的工质成为液态,经过膨胀阀膨胀,在蒸发器中吸热蒸发,转化成低温低压的气体;气态工质回到压缩机,完成热泵工质闭路循环过程,工质如此循环实现物料连续干燥。热泵干燥类似于热风干燥,均是利用热空气加热被干物料,但热泵干燥技术是利用被加热的热空气与被干燥物料之间的对流热交换,利用干燥介质使热空气中的水分冷凝,以达到脱水干燥的目的。

2 热泵干燥技术的优点

一是高效节能。空气源热泵干燥系统具有较高的热能利用率,在干燥过程中热量回收率较高,制热系数可达 4 以上。二是干燥参数易于控制。三是干燥条件可调节范围宽。比如温度的调节范围在 20~100℃,相对湿度可调节范围在 15%~80%,可以干燥多种材料,性能较其他干燥技术优势明显。四是热泵干燥条件比较温和,近似自然干燥,水分的蒸发速率接近水分由材料内部向表面迁移的速率,能最大程度的保持材料的色泽、药性等,干燥产物

品质好。五是运行效率高。热泵可以 24 h 运转,无需考虑气象条件,较自然干燥和太阳能干燥技术,可持续干燥产品,能源利用率较高,运行费用较低。六是热泵干燥技术对环境污染较小,与绿色可持续发展观念相符合。

3 热泵干燥技术的应用

与传统干燥技术相比,热泵干燥技术工艺优势明显,在中药材和特色果蔬的干燥方面应用广泛。本文将从热泵设备的改进、干燥工艺优化、物料的品质控制、能效利用优势、多种干燥方式联合应用等方面介绍。

3.1 热泵设备的改进

为了实现更好的中药材干燥效果,通过逐步改进热泵干燥的控制系统、循环模式、制冷或干燥工质等方法,提高热泵干燥技术的效率和技术水平。在实际干燥过程中,有很多不稳定因素难以准确控制,为此张宇凯等^[1]设计开发了干燥室温湿度和风量全程监控系统,并将模糊控制与 PID (proportion、integration、differentiation) 控制器结合,增强了热泵干燥系统对不稳定因素的适应性。不同的循环模式对除湿效果也有影响,在比较了不同循环模式对除湿效果的影响后,发现开路式、半开路式热泵干燥循环中,系统的单位能耗除湿量较高;在闭路式热泵干燥循环过程中,当 BAR=0.4,单位能耗除湿量比其它几种运行方式都高,可达 1.57。

不同性质的物料对工质的要求也不尽相同。谢继红等^[2]给出了空气、氮气、二氧化碳、氩气、氢气、氦气等 6 种干燥工质的热物性数据及其计算方程,并分析了它们的适用条件。空气最为常用,当物料不含有易燃易氧化成分时即可采用;氮气属惰性工质,当材料中含有易燃易氧化成分时,氮气为首选工质;当干燥物料需要较多工质时可

选用二氧化碳,以减少设备能耗;氦气适于以导热为主给物料传递热、由介质循环带走水分的热泵装置;当物料要求低温短时间干燥时,氢气工质最适合;氦气与氢气条件相似,但安全程度比氢气高,无燃烧爆炸的危险。这些为热泵干燥系统选择适宜的干燥介质提供了很好的参考。

为了减轻操作人员的工作量,需将设备的自动化程度进行提升。张海红等^[3]依据果蔬热风干燥特性和热泵干燥的特点,研制出果蔬热泵干燥系统和计算机调控装置。倪超等^[4]将热泵干燥技术、自动检测控制技术、SCADA 技术融合,开发出一套由热泵干燥装置、数据采集与监控系统组成的热泵干燥监控系统,改善了干燥试验过程中的监控方式,提高了试验的精确性和效率,极大减轻了工作人员的劳动负荷。

3.2 热泵干燥工艺的优化

影响热泵干燥工艺的因素有风速、温度、相对湿度、载物量、风量、循环模式、物料形状等,其中干燥风速、干燥温度、相对湿度为主要因素。在诸多因素交互作用条件下,学者针对不同物料的干燥工艺参数进行了优化,并建立了数学模型。李绚阳等^[5]以热泵恒温干燥箱研究核桃干燥特性,发现温度对核桃干燥速率影响较大,在干燥初期风速对干燥速率影响较大,对实验数据进行拟合证实核桃热泵干燥符合 Page 模型。龙成树等^[6]对桑叶的批量干燥研究,得出优化工艺参数为干燥温度 64.20 °C、风速 2.40 m/s、热烫时间 2.0 min、干燥 2.25 h。李丽等^[7]以新鲜山药为原料,研究其热泵干燥特性及数学模型,发现山药热泵干燥符合 Page 模型。许丹^[8]研究了生地的热泵干燥特性,并得到优化工艺参数条件为干燥温度 49.8 °C、风速 2.67 m/s、生地切片厚度 3.5 mm,该工艺下生地梓醇损失率最小,仅为 10.2%。

3.3 热泵干燥在品质控制方面的优势

热泵干燥技术在中药材有效成分、产品复水性、色泽等品质控制方面优势明显,而普通热风干燥的产品有效成分流失较多,色泽一般,品质下降严重,所以在干燥有效成分挥发性强的物料时,热泵干燥为首选干燥技术。潘年龙等^[9]对黄花菜热泵干燥前后的香气成分进行比较分析,结果表明主要香气成分一致,烷烃类物质相对含量大幅度减少,烯类物质完全消失及酮类物质大量生成;干制黄花菜含水量为 95.3 g/kg,感光品质良好,色泽金黄,无虫蛀和霉变,有黄花菜固有的香味,无异味,能长期保存,较普通自然干燥品质有很大提升。罗磊等^[10]通过优化金银花的干燥工艺,提高了金银花干燥综合品质,同时发现气调热泵干燥金银花也有较好的品质。

3.4 热泵干燥在能源利用率方面的优势

能耗问题通常是评价干燥设备系统性能的重要指标之一,高能耗带来的高成本导致干燥物料成本增加而成为企业负担,而热泵干燥技术在能耗方面较其他干燥技术具有明显的节能增效优势。苑亚等^[11]对骏枣进行新型热泵干燥试验验证,结果表明相对于制冷工质为 R32、R134a、R290 的闭路式热泵干燥系统,新型热泵干燥系统的小时耗电量分别降低了 9.73、8.78 和 9.31 kW;相对于燃煤烤房,每吨干枣可节约成本约 38 元,并且污染物排放明显减少。

3.5 热泵干燥与其他干燥方式联合应用

采用单一干燥方式有时无法满足干燥产品的节本增效和品质控制,将多种干燥方法结合或分阶段采用不同干燥方式已成为农产品干制生产的发展趋势。在干燥的前期采取热泵低温除湿干燥,后期采用远红外加热干燥,利用红外加热速度快、穿透性强的特性,达到缩短传热距离、提高干燥效率的效

果,干燥金银花的结果显示产品品质显著上升^[10]。宋小勇等^[12]对比单一热泵和远红外辅助热泵干燥对铁棍山药片干燥品质的影响,表明联合干燥可显著提高干燥品质。常瑞虎^[13]设计出了一种基于太阳能热泵的当归干燥室并进行了仿真分析,较普通干燥室干燥速率有所提升,产品质量明显提高。研究表明,超声波-热泵协同干燥可以加快红枣干燥速率。综上所述,多种干燥手段的联合使用,较单一干燥方式在能效方面有明显的优势。

4 热泵干燥技术的局限性

热泵干燥在干燥后期有除湿效率下降、干燥速率降低、能耗增加。热泵的性能系数与热泵的蒸发温度和冷凝温度有关,提高冷凝温度可获得较高的干燥温度,但会影响热泵的性能系数和供热量。另外,设备投资也比较大,空气源热泵干燥装置投资为传统干燥设备的 2 倍多。维修保养的问题也值得关注,制冷剂的泄露对热泵干燥装置的工作性能影响较大,必须定期对压缩机、过滤器、冷凝器、蒸发器等装置进行及时保养维护,以保证热泵干燥系统能持续处在高效率的工作状态,一旦发现制冷工质有泄露,应及时补充工质。

5 展望

中药材初加工的目的就是要在最大限度保留药材主效成分的同时,将药材含水量控制在合理范围,达到防劣变减损耗,利于贮藏和深加工。热泵干燥技术具有节能环保、品质可控等优点,它的普遍应用将助推中药材产业提质增效。但热泵干燥设备成本较高,中小微企业和种植户采购有困难,技术人员对设备难以及时维护。因此在提高干燥效率、降低设备成本、增强自动化智能化程度方面有待进一步研发。

参考文献:

[1] 张绪坤,李华栋,徐刚,等. 热泵干燥系

统性能试验研究[J]. 农业工程学报, 2006(4): 94-98.

- [2] 谢继红,周红,陈东,等. 热泵干燥装置中干燥介质的物性及其应用分析[J]. 化工装备技术, 2007(3): 1-5.
- [3] 张海红,何建国,贺晓光,等. 果蔬热泵干燥装置的研制[J]. 食品与机械, 2009, 25(6): 160-163.
- [4] 倪超,李娟玲,丁为民,等. 全封闭热泵干燥装置监控系统的设计与试验[J]. 农业工程学报, 2010(10): 134-139.
- [5] 李绚阳,兰青,夏朝凤,等. 核桃热泵干燥特性及数学模型研究[J]. 太阳能学报, 2017(1): 91-97.
- [6] 龙成树,刘清化,李浩权,等. 响应面法优化桑叶热泵干燥速率模型[J]. 现代农业装备, 2016(5): 24-32, 49.
- [7] 李丽,孙健,盛金凤,等. 山药热泵干燥特性及数学模型的研究[J]. 现代食品科技, 2014(10): 212-217.
- [8] 许丹. 生地干燥工艺的优化[D]. 洛阳: 河南科技大学, 2017.
- [9] 潘年龙,吴凯,王孝荣,等. 黄花菜的热泵干燥工艺研究[J]. 食品工业科技, 2013(11): 259-262, 266.
- [10] 罗磊,杨彬,张国庆,等. 金银花气调热泵干燥过程中绿原酸降解动力学研究[J]. 食品科学, 2015(17): 7-12.
- [11] 苑亚,杨鲁伟,张振涛,等. 新型热泵干燥系统的研究及试验验证[J]. 流体机械, 2018(1): 62-68.
- [12] 宋小勇. 远红外辅助热泵干燥对铁棍山药片品质影响[J]. 核农学报, 2015(7): 1337-1343.
- [13] 常瑞虎. 基于太阳能热泵的当归干燥室设计及仿真分析[D]. 兰州: 兰州理工大学, 2017.
- [14] 王芳. 红枣超声波-热泵协同干燥动力学试验研究[J]. 节能技术, 2018, 36(1): 84-87.

(本文责编: 陈珩)