



枸杞多糖在真空带式干燥机中的干燥工艺

李建国, 赵丽娟, 孔令鹏

(天津科技大学机械工程学院, 天津 300222)

摘要: 以干燥后产品的湿基含水量和溶液黏度为质量指标, 研究了湿基含水量为 20% 的枸杞多糖在真空带式干燥机中的干燥工艺. 对于枸杞多糖这类易发泡的物料, 在真空带式干燥机中进行干燥时, 第一加热区的温度不能过高, 以避免物料发泡后料层过于疏松, 导热系数降低, 影响热量在料层内自下而上的传递, 导致下层物料温度过高, 影响产品溶液黏度; 而上层物料因热量不足, 水分蒸发量少, 影响产品干燥. 在本实验中, 四区加热板的温度为 120、110、100、30 °C, 操作压力 1 000 Pa 时产品质量最好, 此结果为工业生产提供参考依据.

关键词: 枸杞多糖; 真空带式干燥机; 黏度; 湿基含水量

中图分类号: TQ028.6 文献标志码: A 文章编号: 1672-6510(2013)03-0051-05

Drying Technology of Lycium Barbarum Polysaccharides in Vacuum Belt Dryer

LI Jianguo, ZHAO Lijuan, KONG Lingpeng

(College of Mechanical Engineering, Tianjin University of Science & Technology, Tianjin 300222, China)

Abstract: Lycium barbarum polysaccharides with 20% moisture content were dried in a vacuum belt dryer. The moisture content and solution viscosity of the dried product were quality index in this investigation. The results show that the temperature in the first heating area cannot be set too high so as to prevent the materials from losing too much. Otherwise, the reduced thermal conductivity would influence the heat transfer from bottom to top in the material layer; the solution viscosity of the dried product would be reduced due to the higher temperature of the bottom material; while the moisture content of the dried product located on the top of the material layer would be higher because of the reduced heat transfer. In this experiment, the best operating parameters are 120, 110, 100, 30 °C, and the operating pressure is 1 000 Pa. The results can be of great help to industrial production.

Key words: Lycium barbarum polysaccharides; vacuum belt dryer; viscosity; moisture content

枸杞多糖(Lycium barbarum polysaccharides, LBP)是枸杞子中主要活性成分之一. LBP 是从枸杞子中提取的水溶性多糖, 是由阿拉伯糖、鼠李糖、木糖、甘露糖、半乳糖、葡萄糖及半乳糖醛组成的酸性杂多糖的糖链与蛋白质的肽链以共价键的形式结合的含肽多糖, 分子质量为 $1 \times 10^5 \sim 8.8 \times 10^5 \text{ u}^{[1-2]}$. 研究表明, 枸杞多糖是枸杞子调节免疫、延缓衰老的主要活性成分, 可改善老年人易疲劳、食欲不振和视力模糊等症状, 并具有降血脂、抗脂肪肝、抗衰老、抑制肿瘤生长和细胞突变等作用, 是多种药物和保健食品的重要原料, 具有广阔的应用前景^[3].

目前枸杞多糖的一般生产流程为: 枸杞子→干燥→粉碎→提取→提取液→抽滤→减压浓缩→无水乙醇沉淀→二次沉淀→95%乙醇、丙酮反复洗涤→枸杞多糖层析液→干燥→粗多糖. 其中, 枸杞多糖层析液的干燥是一个比较重要的生产环节, 研究其干燥工艺对枸杞的综合利用会起到重要的推动作用.

目前对多糖液态物料常用的干燥方式是箱式干燥、喷雾干燥. 箱式干燥存在干燥不均匀、易结块、效率低、干燥时间长等缺点, 且进出料均需人工操作, 劳动强度大、操作环境恶劣, 物料容易被污染; 喷雾干燥虽然可实现连续操作和自动控制, 但由于尾气中

挟带较多的干产品和热量,使收粉率和热效率大大降低,目前国内甜菊糖及低聚糖喷雾干燥的收粉率为20%~40%^[4-6],热效率一般在40%以下.真空冷冻干燥采用低温低压下的传热传质机理,可以很好地保留物料的有效成分,但设备的投资费用和运行费用都很高,且干燥周期比较长,单机处理量少,仅限于对小批量贵重物料的干燥.

真空带式干燥机是本世纪初出现的一种连续化、自动化的低温干燥设备,物料在真空环境下进行低温干燥,其产品质量可与真空冷冻干燥相媲美.它采用传导加热的方式,热效率在90%左右,收粉率可达95%以上,且处理量比较大,干燥周期远短于真空冷冻干燥机,在食品、生物、医药等行业均有应用^[7].

目前有关枸杞多糖在真空带式干燥机中干燥特性的研究还未见报导.本文通过研究枸杞多糖在真空带式干燥机中的干燥工艺,得到其最佳的干燥操作参数.

1 材料与方法

1.1 原料

枸杞多糖由青海西宁三普药业有限公司提供,湿基含水量为20%,要求干燥后的湿基含水量低于3%.

1.2 仪器与设备

DZF-6051型真空干燥箱,上海贺德实验设备厂;FA1104型分析天平、SH10A型水分快速测定仪,上海良平仪器仪表有限公司;DV-III+型可编程控制式流变仪,美国Brook Field公司.

干燥设备为上海朗诣节能技术有限公司生产的VBD-1型真空带式干燥系统,真空度1000~5000 Pa(绝压)可调,三区加热一区冷却,加热区温度40~130℃可调,冷却区温度20~50℃可调,总换热面积1 m².真空带式干燥流程见图1.

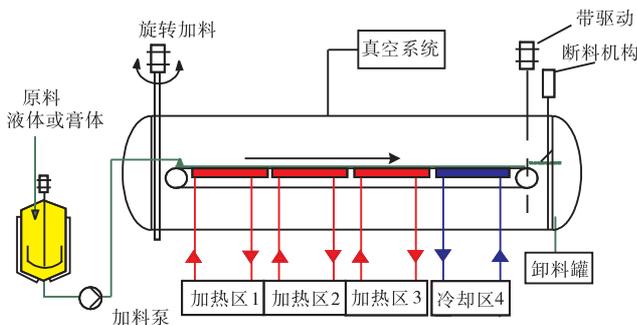


图1 真空带式干燥流程

Fig. 1 Working process of vacuum belt dryer

真空带式干燥机的工作原理为:物料经由螺杆泵和喷嘴均匀地平铺在履带上,依次经过各加热区,加热介质(饱和蒸汽或过热水)通过加热板将热量传递给履带上的物料,物料吸收热量使其中的水分蒸发.为避免物料过热,同时考虑物料的热塑性,在冷却区内通冷水对物料进行冷却.通过冷却区后物料温度降低,变脆,最后从履带上剥落下来,进入卸料罐,整个干燥过程在真空条件下进行.

1.3 产品质量测定方法

1.3.1 含水量的测定

将少许样品置于洁净干燥的称量皿中,样品厚度约2 mm,称重后置于真空烘箱中在80℃温度下干燥5~8 h,直至样品质量恒定,物料的湿基含水量按式(1)计算.

$$w = \frac{m_1 - m_2}{m_1 - m_0} \times 100\% \quad (1)$$

式中: m_0 为称量皿质量; m_1 为烘前样品和称量皿质量; m_2 为烘干后样品和称量皿质量.

1.3.2 黏度的测定

称取一定量的干燥后产品,计算绝干物料的质量 m_G ,以其绝干质量为基准,在常温下配制不同浓度的多糖溶液,在旋转黏度计上测其黏度.并与原料液配制的同浓度的溶液黏度进行比较.

绝干物料量按式(2)计算.

$$m_G = m(1 - w) \quad (2)$$

式中: m 为样品质量,g; w 为物料的湿基含水量,%.

2 理论分析与确定实验参数

2.1 理论分析

针对真空带式干燥机内任一点的物料,其导热微分方程为

$$\frac{1}{a} \left(\frac{\partial T}{\partial t} \right) = \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \frac{\dot{q}}{\lambda} \quad (3)$$

式中: T 为温度,K; t 为时间,s; a 为热扩散率, m²/s; x, y, z 为距壁面三个方向上的距离,m; \dot{q} 为单位体积中释放的热速率, J/(m³·s); λ 为导热系数, W/(m·K).

由于干燥过程是物理脱水过程,没有化学反应,不会产生反应热;且在连续生产过程中,对于干燥筒体内的固定点,经过此处的物料,其湿度、温度与时间无关.故式(3)中: $\dot{q} = 0$, $\frac{\partial T}{\partial t} = 0$,则式(3)简化为

$$\nabla^2 T = 0 \quad (4)$$

由于物料层较薄,又是在一个封闭的干燥室内,认为热传导只沿物料厚度方向进行;在连续稳定生产过程中,由于料层底部输送带与加热板紧密贴合,加热板内通过的热水或蒸汽温度和流量不变,故而对于固定位置的输送带,其温度不变.这样式(4)就可简化为单层平壁的一维稳态导热的微分方程:

$$\frac{d^2T}{dx^2} = 0 \quad (5)$$

边界条件为

$$x = \begin{cases} 0 & (T = T_1) \\ H & (T = T_2) \end{cases}$$

式中: T_1 为物料底层温度, K; T_2 为物料顶层温度, K.

对式(5)进行积分,并代入相应边界条件,得料层内的温度分布为

$$T = T_1 - \frac{T_1 - T_2}{H} x \quad (6)$$

式中: H 为料层厚度, m.

根据傅里叶导热定律,通过物料层某一深度 x 处的导热通量为

$$\frac{q_x}{A} = -\lambda \frac{dT}{dx} \quad (7)$$

式中: A 为导热面积, m^2 .

对式(6)取微分得

$$\frac{dT}{dx} = -\frac{T_1 - T_2}{H} \quad (8)$$

将式(8)代入式(7),则导热速率可按式(9)求解.

$$q_x = \frac{\lambda A}{H} (T_1 - T_2) \quad (9)$$

由式(9)可知,从传热机理上来说料层厚度越小越好,但太小会影响产量,一般生产中初始加料厚度在 1~2 mm.

2.2 确定实验参数

在真空带式干燥过程中,针对特定的物料,料层厚度、加热温度、真空度和停留时间是影响干燥后产品质量的主要因素.料层厚度由加料螺杆泵的频率和输送带主轴电机的频率共同决定;停留时间由输送带主轴电机频率决定;真空度由真空泵频率确定,此项可由压力表直接读出;加热温度相对复杂:真空带式干燥系统有 4 个加热区,每个加热区的温度变化都会引起干燥特性的变化,加热区的温度由温度指示计读出.

2.2.1 停留时间与料层厚度

螺杆泵与真空带式干燥系统主动轴的频率可由操作台屏幕直接读出.测得在输送枸杞多糖物料时螺杆泵转动频率与加料流量之间的关系见图 2.

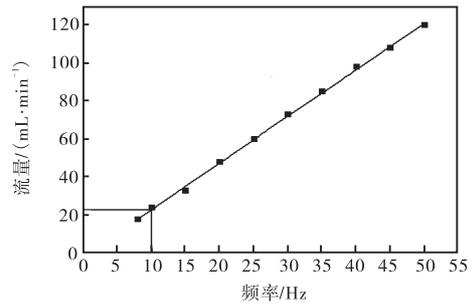


图 2 加料流量与螺杆泵频率之间的关系

Fig. 2 Relationship between feeding flux and frequency of screw pump

调节主动轴的转动频率,测量主动轴转动一圈所需的时间 t_1 ,主动轴周长 l 已知,则主动轴在不同转动频率时履带的前进速度为 $v_1 = l/t_1$,由此可确定物料的停留时间.

将上述实验结果整理得图 3.在干燥实验中可以通过调节螺杆泵和输送带主轴的转动频率来调节物料在履带上的铺料厚度(指常压下初始厚度)及停留时间.

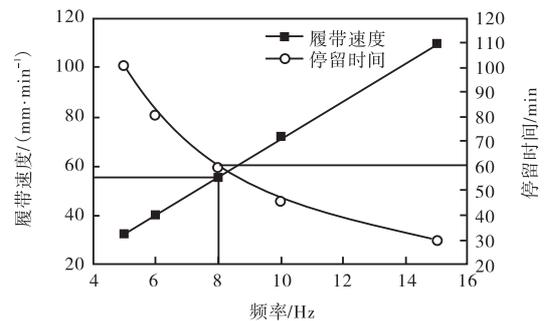


图 3 履带速度和停留时间与主动轴频率的关系

Fig. 3 Relationship between belt rate, residence time and the frequency of initiative shaft

料层厚度按式(10)计算.

$$H = \frac{1000q_v}{v_1 W} \quad (10)$$

式中: H 为料层厚度, mm; q_v 为加料的流量, mL/min; v_1 为履带速度, mm/min; W 为布料宽度,在本实验中加料装置摆臂的活动范围是 360 mm,即布料宽度为 360 mm.

在实验中,根据经验设定螺杆泵的频率为 10 Hz,主轴频率为 8 Hz,由图 2 中查得加料流量为 23 mL/min,由图 3 中查得履带速度为 55 mm/min,停留时间为 60.5 min,由式(10)得料层厚度为 1.2 mm.

2.2.2 加热温度

枸杞多糖是活性物料,在干燥过程中当物料温度超过其耐热极限时会影响产品质量.据报道,多数物

料在真空带式干燥机中进行干燥时分为恒速段和降速段,物料温度升高主要发生在降速段^[8-9].当物料在真空带式干燥机中经过第三个加热段时基本已进入降速段,所以最后一个加热段内介质的温度应不高于物料的耐热温度.在真空带式干燥机内,绝对压力一般在1 000~4 000 Pa,对应水的沸点为7.5~30 ℃.在恒速干燥阶段,物料沸腾,水分蒸发,加热板提供的热量全部用于水分蒸发,物料温度为对应压力的沸点温度;进入降速干燥阶段后,加热板提供的热量一部分用于水分蒸发,一部分会使物料升温.研究表明枸杞多糖在40~100 ℃时比较稳定^[7],据此设定四组加热温度,分别为

- 1组: 135、120、100、30 ℃;
- 2组: 125、120、100、30 ℃;
- 3组: 120、110、100、30 ℃;
- 4组: 110、110、100、30 ℃.

真空腔内绝对压力分别设定为1、2、3、4 kPa.

3 结果与分析

3.1 干燥参数对产品湿基含水量的影响

不同实验条件下测得的产品湿基含水量及实验现象见表1.

表1 不同实验条件下的结果比较

Tab.1 Comparison of experimental results under different experimental conditions

压力/ kPa	温度 组别	发泡高度/ mm	湿基含 水量/%	飞溅情况
1	1	50	7.10	严重
	2	35	2.68	轻微
	3	33	2.81	轻微
	4	28	4.43	轻微
2	1	48	8.83	严重
	2	33	3.62	轻微
	3	31	3.89	轻微
	4	27	5.77	轻微
3	1	44	9.15	中等
	2	32	3.96	轻微
	3	30	3.91	轻微
	4	26	6.43	轻微
4	1	41	9.91	中等
	2	31	4.22	轻微
	3	29	4.60	轻微
	4	25	6.75	轻微

从表1中可以看出,操作压力及加热板温度决定了干燥后产品的质量.干燥过程是一个既有传热又

有传质的过程,干燥速率的大小由传热及传质过程中居于弱势的那一个因素控制.在真空带式干燥过程中,操作压力越低,则物料沸点越低.物料由常压进入真空状态后,马上达到沸点,物料剧烈沸腾、发泡.当加热板温度相同时,操作压力越低,物料发泡高度越高.在同一操作压力下,一区的加热温度越高,发泡高度越高.发泡使物料内部出现的大量空洞,使其密度减小,导热系数降低,这一点从传热角度上来讲是不利的;但从蒸发与传质角度来说,物料越疏松,蒸发面积越大,越有利于传质过程的进行.但当物料发泡高度过高,顶层物料会因传热速率过小,无法获得足够的热量使物料中水分蒸发,产品的含水量就会过高,达不到要求.在真空带式干燥过程中,加热板的温度、操作压力及物料的发泡高度之间应有一最佳配合,方可得到质量合格的产品.

在本实验中,当操作压力1 kPa时,2、3两组参数下,物料发泡适中,提供热量足以让物料内水分蒸发,产品湿基含水量低于3%,达到要求.从能耗角度来考虑,生产中选择第3组实验参数为宜.即加热板各区温度为120 ℃、110 ℃、100 ℃、30 ℃.

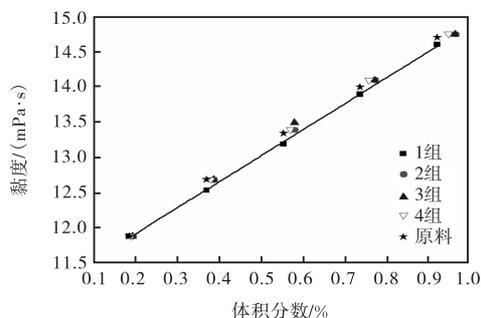
3.2 干燥参数对产品溶液黏度的影响

多糖的黏度主要是由于多糖分子间的氢键相互作用产生,还受多糖分子质量大小的影响^[7].产品的黏度间接反映了干燥后产品的结构变化,可以从一个方面反映干燥后产品的品质.选取操作压力为1 kPa时,不同加热温度下的产品,配制稀溶液测定其黏度,并进行了比较,结果见图4(a).

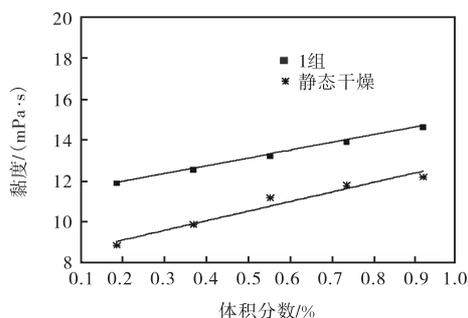
从图4(a)中可以看出,只有在第1组参数条件下得到的产品溶液黏度相对低一些.这是因为一区温度设定太高(135 ℃),物料进入干燥机内发泡剧烈,发泡后物料层厚度在50 mm左右.由于发泡后料层疏松,密度变小,物料的导热系数变小,加热板内的大量热量主要供给了底层物料,使其温度升高,有可能接近加热板的温度.物料在高温下停留时间较长,产品质量受到影响,氢键断裂,导致产品溶液黏度降低.在其他干燥条件下,因一区温度不是很高,物料发泡不严重,不存在局部物料过热情况,产品质量得到较好的保护,故而产品溶液的黏度与原料溶液的黏度相差不大.

为验证温度对于枸杞多糖黏度的影响,比较了普通真空干燥箱中静态干燥(加热温度100 ℃)所得产品与第1组参数条件下干燥的产品溶液黏度,见图4(b).真空干燥箱静态干燥导致物料温度过高,使产品质量受到影响,因而溶液黏度低于真空条件下所得

产品. 这说明枸杞多糖在真空带式干燥机中干燥时, 在低氧及低温的环境下物料分子基本没有受到破坏, 进一步验证了真空带式干燥机的优越性.



(a) 不同加热温度间比较



(b) 第1组参数与静态干燥比较

图4 多糖溶液黏度比较

Fig. 4 Comparison of the viscosity of LBP solution

4 结论

(1) 在本实验过程中, 当操作压力为 1 kPa 时, 四区温度分别为 125、120、100、30 °C 和 120、110、100、30 °C 条件下得到的干燥产品其湿基含水量均能满足要求. 从节能角度考虑, 选取操作参数 120、110、100、30 °C, 最为适宜.

(2) 枸杞多糖易发泡, 属热敏性物料. 在真空干燥过程中应注意, 第一加热区的温度不能太高, 以免

使物料发泡剧烈, 物料层厚度增加, 密度减小, 而影响干燥过程的导热系数, 使上层物料蒸发热较少, 影响产品湿基含水量; 下层物料温度较高, 也影响产品溶液黏度.

(3) 物料的发泡高度随操作压力的降低而升高, 随一区加热温度的升高而升高. 在生产过程中应从传热和传质两个角度进行综合考虑, 即在保证产品质量的前提下尽量节约能源.

参考文献:

- [1] 王琦, 张晓丹, 张静蕾. 枸杞多糖研究进展[J]. 食品研究与开发, 2009, 30(10): 150-152.
- [2] 邓自辉, 牛阳, 王荣, 等. 枸杞多糖药理作用的研究现状[J]. 临床合理用药, 2011, 4(24): 164-165.
- [3] 高春燕. 枸杞多糖的提取分离技术及其特性研究[D]. 西安: 陕西师范大学, 2006.
- [4] 韩磊, 唐金鑫, 吴亚飞, 等. 含糖类物料的喷雾干燥[J]. 林产化学与工业, 2006, 26(2): 117-121.
- [5] Meng X C, Stanton C, Fitzgerald G F, et al. Anhydrobiotics. The challenges of drying probiotic cultures[J]. Food Chemistry, 2008, 106(4): 1406-1416.
- [6] Cano-Chauca M, Stringheta P C, Rmaos A M, et al. Effect of the carriers on the microstructure of mango powder obtained by spray drying and its functional characterization [J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2005, 6(4): 420-428.
- [7] 高春燕, 卢跃红, 田呈瑞. 枸杞多糖流变学特性研究[J]. 食品科学, 2009, 3(21): 28-31.
- [8] 邱志芳. 三七浸膏真空带式干燥工艺的研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2008.
- [9] 王娟, 李远志, 陈人人, 等. 带式连续真空干燥香蕉粉的失水特性研究[J]. 食品与发酵工业, 2005, 31(6): 19-21.

责任编辑: 常涛