

# 不同干燥方法对三七内部结构和复水品质的影响

周国燕, 詹博, 桑迎迎, 王春霞, 胡晓亮  
(上海理工大学低温生物与食品冷冻研究所, 上海 200093)

**摘要:** 对比研究真空冷冻干燥、真空干燥和热风干燥对三七内部结构和复水品质的影响。采用微CT技术对干燥样品进行扫描和图像重构, 计算干燥样品的孔隙率和复水比, 对3种干燥方法所得样品的复水品质进行对比分析。结果表明: 3种干燥方法对孔隙率和复水比都有极显著影响( $P < 0.01$ )。从内部结构的保持和复水品质角度来看, 真空冷冻干燥优于其他两种干燥方法, 较适于工业生产。

**关键词:** 三七; 孔隙率; 复水品质; 干燥方法

## Influence of Drying Methods on Inner Structure and Rehydration Quality of *Radix Notoginseng*

ZHOU Guo-yan, ZHAN Bo, SANG Ying-ying, WANG Chun-xia, HU Xiao-liang  
(Institute of Cryo-medicine and Food Refrigeration, Shanghai University of Science and Technology, Shanghai 200093, China)

**Abstract:** The influence of vacuum freeze-drying, vacuum drying and hot-air drying on the inner structure and rehydration quality of *Radix Notoginseng* (dried roots of *Panax notoginseng*) was comparatively investigated. Porosity and rehydration rate of dried samples were calculated based on Micro-CT scanning and image reconstruction. All the three drying methods had a highly significant impact on porosity and rehydration rate of dried samples. In terms of inner structure maintenance and rehydration quality, vacuum freeze-drying was superior to the other two methods and more suitable for industrial production.

**Key words:** *Panax notoginseng*; porosity; rehydration quality; drying method

中图分类号: TS205

文献标识码: A

文章编号: 1002-6630(2011)20-0044-04

三七别名田七, 为五加科人参属植物, 主要产于我国云南文山、马关等地, 已有四百多年的种植和应用历史<sup>[1]</sup>。三七可用做保健食品, 其根茎具有止血、促进血液循环及镇痛等作用<sup>[2]</sup>, 三七切片就是由新鲜的三七主根经切片干燥后得到的初加工制品。

中药材的干燥方法, 主要分为两大类: 人工干燥和自然干燥。自然干燥虽然简单, 但周期长, 质量低, 因此工业化生产中, 应用较多的还是人工方法<sup>[3]</sup>。三七具有热敏性, 易氧化<sup>[3]</sup>, 不同的干燥方法对三七内部结构和成分影响很大。人工方法中热风干燥操作简便, 成本低廉, 对设备、环境及操作技术要求不高<sup>[4]</sup>; 真空干燥的干燥室内气体分子数少, 密度低, 含氧量低, 为易氧化变质的三七提供了有利的干燥条件<sup>[5]</sup>, 且由于气

压较低, 水蒸气较易排出; 真空冷冻干燥是现代最先进的干燥方法之一, 它能最大程度地保持食品的营养成分和原有形状, 保留食品新鲜时的色、香、味, 且产品复水性较好, 便于长期贮存、运输和销售<sup>[6]</sup>。目前针对这3种干燥方法对三七干燥质量影响的研究, 多着重于皂苷含量和含水量<sup>[7]</sup>, 关于3种干燥方法对三七内部结构影响的研究较少。由于干燥后的三七是多孔结构, 故孔隙结构直接影响了干燥过程中的传热传质过程<sup>[8-9]</sup>, 从而影响干燥质量。X光技术由于其能无损的探测多孔介质内部结构, 而受到研究者的广泛关注。Steppe等<sup>[10]</sup>利用X光技术对木材内部结构进行了分析; 张扬等<sup>[11]</sup>利用微CT扫描仪对蛋糕内部孔隙率进行了测定; 肖鑫等<sup>[12]</sup>对冻干草莓内部结构用微CT进行了分析。目前关于三

收稿日期: 2011-07-04

基金项目: 国家自然科学基金青年基金项目(50206013); 上海市重点学科建设项目(S30503);  
上海市教委科研创新项目(09YZ230)

作者简介: 周国燕(1970—), 女, 副教授, 博士, 研究方向为食品冷冻冷藏和生物热系统。E-mail: efly\_snow@163.com

七内部结构微CT研究的文献还未见报道,通过微CT研究三七切片的内部结构,对不同三七干燥方法的评定,有重要的意义。

本实验以微CT为分析工具,对不同干燥方法在各自最优条件下得到的三七切片内部结构进行无损分析,测量其孔隙率并观测其内部结构。之后对三七切片进行复水,从内部微观结构和复水品质两方面来比较不同干燥方法对三七切片品质的影响,以找到适宜三七切片生产的最佳干燥方法,也为三七切片的生产加工提供科学评价依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材 料

新鲜三七:云南文山2009年春三七(30头),采自禾康三七种植基地。

### 1.2 仪 器 与 设 备

Skyscan 1074 HR型微CT机 比利时Skyscan公司;BP系列分析天平 赛多利斯公司;101-4型恒温鼓风干燥箱、DZF-0B型真空干燥箱 上海跃进医疗器械厂;Advantage台式真空冷冻干燥机 美国SP Industries公司;Pyris Diamond DSC差示扫描量热仪 美国Perkin-Elmer公司。

### 1.3 方 法

#### 1.3.1 不同干燥方法工艺流程

3种干燥方法最佳工艺流程是在参考文献[13-14]的基础上,经实验得出。

真空冷冻干燥工艺:新鲜三七→预处理→切片(切片厚度1mm)→摆盘→预冻结(预冻温度-25℃)→真空冷冻干燥(升华干燥时间3h、解析干燥温度50℃、真空度维持在10~30Pa)→包装→成品→品质评价。

热风干燥工艺:新鲜三七→预处理→切片(切片厚度1mm)→摆盘→热风干燥(干燥温度40℃)→包装→成品→品质评价。

真空干燥工艺:新鲜三七→预处理→切片(切片厚度1mm)→摆盘→真空干燥(干燥温度30℃、真空度50Pa)→包装→成品→品质评价。

#### 1.3.2 内部微观结构的分析

将干燥后的三七切片放入微CT机,用Skyscan软件控制微CT机对干燥后的三七切片进行扫描,样品360°旋转,旋转步长取3.6°。然后对得到的扫描图像用Cron-Beam Reconstruction软件进行重构,选取重构的系列截面用CTAn分析软件进行孔隙率计算。在用软件计算时,取灰度阈值150,以消除图像的背景噪音<sup>[21]</sup>。低于此值被认为骨架区,高于此值被认为孔隙区。

#### 1.3.3 复水品质的分析

复水品质主要包括复水时间、复水比和复水后的口感。

复水时间测定:取干燥后的三七切片,将其置于60℃水中,每隔半分钟取出沥干,用滤纸吸干表面水分,测定其质量,直至质量不再增加为止,记录所需时间,此时间即为干燥三七的复水时间;复水比<sup>[15]</sup>测定:取干燥后的三七切片,称量记为 $m_A$ ,然后将三七切片置于60℃水中,10min后沥干水并用滤纸吸干表面水分,称量并记为 $m_B$ ,复水比= $\frac{m_B}{m_A}$ ;复水后口感测定:复水后产品的口感滋味。以口感较脆,味甘回甜为佳。

## 2 结果与分析

### 2.1 内部微观结构分析

不同干燥方法得到的三七切片的样品图、X射线扫描图和二维重构图如图1、2所示。



图1 冻干处理后(A)、热风干燥处理(B)和真空干燥(C)的三七切片  
Fig.1 Photograph of vacuum free dried *Radix Notoginseng* samples

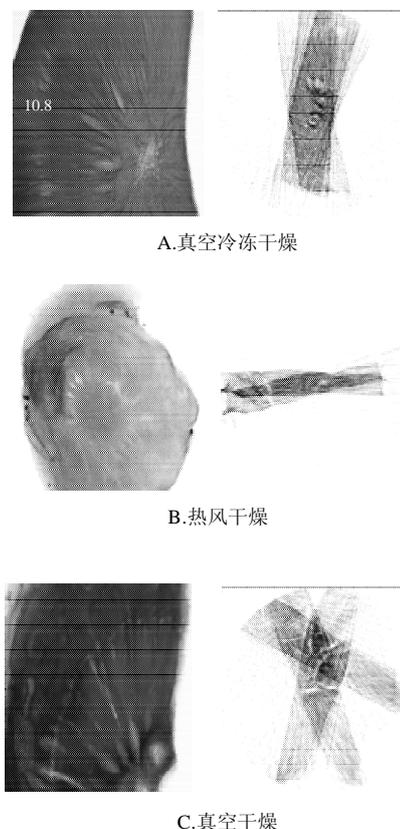


图2 三七切片3种处理的X-射线扫描图和重构图  
Fig.2 Photograph of hot-air dried *Radix Notoginseng* samples

如图 1、2 所示, 真空冷冻干燥的三七切片产生了均一的多孔、疏松状结构, 并保持完好的春三七的菊花心木质部结构, 孔隙分布均匀, 结构致密; 热风干燥的三七切片因干燥时表面皱缩且内部结构发生塌陷, 质地较硬, 其 X 射线扫描图不能用肉眼清晰分辨出组织结构状态和孔隙分布; 真空干燥的三七切片组织也比较致密、结实, 经 X 射线扫描能清晰看到孔隙分布。应用 CTAn 软件分析, 得到 3 种干燥方法所得三七切片的孔隙率如表 1 所示。

表 1 经不同方法干燥的三七切片的孔隙率

Table 1 Porosity of *Radix Notoginseng* samples dried by different methods

方法	孔隙率/%			平均值/%			标准差/%		标准误差	
热风干燥	14.21	14.57	14.84	14.54	0.31607	0.182				
真空干燥	10.19	10.57	10.23	10.33	0.20881	0.12				
真空冷冻干燥	12.52	12.35	12.08	12.32	0.22189	0.128				

表 2 不同干燥方法干燥三七切片的孔隙率的方差分析表

Table 2 ANOVA of porosity of *Radix Notoginseng* samples dried by different methods

变异来源	偏差平方和	自由度	方差	F 值	$F_{\text{临界}}$	显著性
处理间	26.614	2	13.307	207.132	$F_{0.05(2,6)}=5.14$	**
处理内	0.385	6	0.064		$F_{0.01(2,6)}=10.92$	
总变异	27.0	8				

注: \*.差异显著,  $P < 0.05$ ; \*\*.差异极显著,  $P < 0.01$ 。下同。

从表 2 可知, 各处理间差异极显著, 说明热风干燥、真空干燥和真空冷冻干燥这 3 种干燥方法对孔隙率大小有极显著性影响。从孔隙率平均值上可以看出, 热风干燥所得孔隙率最大, 真空冷冻干燥次之, 真空干燥最小。

## 2.2 复水品质测定结果

对不同干燥方法所得三七切片进行复水后, 所测得的复水时间、复水口感和复水比见表 3、4。

方差分析结果如表 5 所示。各处理间存在极显著性差异, 说明热风干燥、真空干燥和真空冷冻干燥这 3 种干燥方法对三七切片的复水比均有极显著性影响。结合表 3、4 可以看出, 热风干燥的复水比最大, 复水时间

最长, 复水效果最差; 真空干燥复水比最小, 复水时间最短, 复水效果较好; 真空冷冻干燥复水比较大, 复水时间较短, 复水效果最好。

表 4 经不同方法干燥的三七切片的复水比

Table 4 Rehydration rates of *Radix Notoginseng* samples dried by different methods

方法	复水比			平均值	标准差	标准误差
热风干燥	2.54	2.43	2.49	2.4867	0.05508	0.03180
真空干燥	2.21	2.24	2.31	2.2533	0.05132	0.02963
真空冷冻干燥	2.37	2.36	2.28	2.3367	0.04933	0.02848

表 5 经不同方法干燥的三七切片的复水比的方差分析表

Table 5 ANOVA of rehydration rates of *Radix Notoginseng* samples dried by different methods

变异来源	偏差平方和	自由度	方差	F 值	$F_{\text{临界}}$	显著性
处理间	0.084	2	0.042	15.535	$F_{0.05(2,6)}=5.14$	**
处理内	0.016	6	0.003		$F_{0.01(2,6)}=10.92$	
总变异	0.1	8				

## 2.3 不同干燥方法对三七切片的影响

传统的热风干燥法对三七的影响较大, 所得三七切片质地坚硬, 难切分和粉碎。切片表面呈灰白色、质重, 有皱缩, 但基本无裂痕, 无孔, 药味较淡。干燥过程中通过热风加快了干燥的过程, 空气作为载热体供给物料热量的同时, 还作为载湿体, 将物料排出的湿气带走。由于在高温下进行热质传递, 药味药性损失严重。同时由于干燥过程中, 外表面温度较高, 水分蒸发较内部快快, 故干燥后成品表面硬化现象严重, 内部组织结构不均一, 孔隙分布不均匀, 内部颗粒连接现象严重, 造成流体较难通过的死端孔隙<sup>[6]</sup>较多, 阻碍了复水。所以虽然孔隙率较大, 但复水时间较长, 复水比较高, 复水后制品表现出与新鲜三七相差较大的口感。但整个干燥过程简单, 设备投入小, 一次处理量大。

真空干燥在干燥过程中, 水分在压力差的作用下移向物料表面, 干燥后的三七切片硬度大, 内部孔隙结构保持较好, 组织较致密、结实, 孔隙率较小, 难以咀嚼, 能快速复水、复水比低, 复水后制品脆性较

表 3 经不同方法干燥的三七切片的复水时间和复水口感

Table 3 Rehydration time and taste of *Radix Notoginseng* samples dried by different methods

复水品质	干燥方法		
	冻干	热风干燥	真空干燥
复水平均时间/min	5.5	9	4
复水后的口感	有较浓郁的中药味, 微苦, 口感较脆, 滋味悠长	中药味较淡, 感受不出新鲜三七的药味, 在口中味道停留时间短	口感较脆, 有一定的药味, 但不明显

大,但因干燥时间长,且水分在较高温度下排出,造成物质的迁移,对三七内部成分造成损害<sup>[17]</sup>,药味损失较严重,成品表面色泽不理想,颜色发暗、泛白,无机盐析出严重。

真空冷冻干燥脱水彻底,干燥后的成品表面呈黄白色、质轻、药味浓。从内部扫描图来看,切片产生了均一的多孔、疏松状结构,组织致密,孔隙率分布均匀,复水时间短,复水性好,5min后基本恢复原形,复水后口感佳,与新鲜三七差别最小。这是因为在真空冷冻干燥过程中,冰晶的形成会对内部结构造成一定程度的破坏<sup>[18]</sup>,孔隙较真空干燥大。冰晶在原位置升华后形成的孔隙,会作为后续水蒸气升华的通道,且由于主要传质过程(升华干燥阶段)是由冰在较低温度和压力下,直接升华为气态并在压差作用下经扩散作用由孔隙排出<sup>[19]</sup>,故可以保持新鲜三七的物质形态分布状况,减少因水分扩散带来的物质迁移,对三七内部成分和结构破坏较小,复水品质也较好。

#### 2.4 3种干燥方法的比较

3种方法中,热风干燥的一次处理量大,设备投入小,操作简便,但三七品质不高,内部结构及复水均较差。真空干燥三七品质较热风干燥好,但时间较长,制品品质也不及真空冷冻干燥。且有研究证明,真空干燥三七的含水量要高于真空冷冻干燥三七的含水量<sup>[7]</sup>,这将对三七切片的长期储存造成影响。同时,真空干燥也不适于高含水量物料及糊状物料的干燥<sup>[20]</sup>,故不适用于三七浸膏等初始含水量较大且对含水量要求较高的三七制品的制备。真空冷冻干燥的三七切片的内部结构和内部成分保持最好,复水品质也较好,一次性投入较大,工艺操作较复杂,干燥三七制品价格相对较高<sup>[21]</sup>。

综上所述真空冷冻干燥虽然成本较高,但从内部结构的保持和复水品质角度来看,优于其他两种干燥方法。同时由于高质量的冷冻干燥三七附加值也较高,所以真空冷冻干燥更适于工业生产。

### 3 结 论

三七是药用价值比较高的传统中药,为提高三七干燥品质,本实验比较真空冷冻干燥、真空干燥和热风干燥对三七切片内部结构和复水品质的影响,测量孔隙率和复水比,从内部结构和复水品质两方面比较3种干燥方法的优劣。结果表明:3种干燥方法对孔隙率和复水比都有极显著影响( $P < 0.01$ )。其中真空冷冻干燥脱水彻底,干燥后的成品表面黄白色、质轻、药味浓。

且从内部结构的保持和复水品质角度来看,真空冷冻干燥切片具有较均一的多孔、疏松结构,组织致密,复水时间短,复水比大,复水后口感佳,与新鲜三七差别最小,故优于其他两种干燥方法,较适于工业生产。不过由于真空冷冻干燥操作复杂,与大规模工业生产搭配的批量生产工艺尚需探讨。

#### 参 考 文 献:

- [1] 鲁振坤. 浅析三七[J]. 中国现代中药, 2010, 12(6): 45-61.
- [2] XIE Guoxiang, QIU Yunping, QIU Mingfeng, et al. Analysis of dencichine in *Panax notoginseng* by gas chromatography-mass spectrometry with ethyl chloroformate derivatization[J]. Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis, 2007, 43(3): 920-925.
- [3] 闫泽华, 张仲欣. 中药材干燥的现状与发展趋势[J]. 农产品加工, 2008(2): 62-64.
- [4] 张美霞, 璐争艳, 阚建全. 鲜切藕片热风薄层干燥工艺优化及数学模型建立[J]. 食品科学, 2009, 30(22): 184-187.
- [5] 王慧慧, 李成华, 王颖, 等. 牛蒡真空干燥的试验研究[J]. 沈阳农业大学学报, 2008, 39(1): 48-51.
- [6] 肖丽霞, 闫师杰, 刘野, 等. 真空冷冻干燥和热干燥绿竹笋干品质的比较[J]. 食品与发酵工业, 2005, 31(5): 62-63.
- [7] LIU Xuesong, QIU Zhifang, WANG Longhu, et al. Quality evaluation of *Panax notoginseng* extract dried by different drying methods[J]. Food and Bioproducts Processing, 2011, 89(1): 10-14.
- [8] 刘伟, 范爱武, 黄晓明. 多孔介质传热传质理论与应用[M]. 北京: 科学出版社, 2006: 13-16.
- [9] FUKASAWA T, DENG Z Y, ANDO M, et al. Pore structure of porous ceramics synthesized from water-based slurry by freeze-dry process[J]. Journal of Materials Science, 2001, 36(10): 2523-2527.
- [10] STEPPE K, CNUUDE V, GIRARD C, et al. Use of X-ray computed microtomography for non-invasive determination of wood anatomical characteristics[J]. Journal of Structural Biology, 2004, 148(1): 11-21.
- [11] 张扬, 彭晓峰. 多孔材料内部结构的微CT扫描仪分析[J]. 工程热物理学报, 2005, 26(5): 850-852.
- [12] 肖鑫, 陶乐仁, 陈隽. 冻干物料内部孔隙率影响因素的实验研究[J]. 食品工业科技, 2007, 28(3): 78-81.
- [13] 徐艳阳, 张鹏, 檀亦兵, 等. 真空冷冻干燥工艺中物料共晶共融点的测定[J]. 食品工业科技, 2005, 26(5): 56-57.
- [14] 王清元, 陈东雷, 李喆. 三七干燥机理的探讨[J]. 农机化研究, 2007(6): 25-28.
- [15] 林捷, 林晓静, 蒋姐, 等. 预处理对真空冷冻干燥炭步香芋品质的影响[J]. 食品科学, 2007, 28(4): 138-141.
- [16] 葛仕福, 施明恒. 被干燥多孔物料中孔隙大小及分布的探讨[J]. 应用科学学报, 2005, 23(1): 94-98.
- [17] 余淑娴, 郝晓霞, 罗明. 真空冷冻干燥技术及其应用[J]. 食品科技, 2007(10): 22-25.
- [18] 肖鑫. 冷冻干燥过程升华特性的微CT实验研究[D]. 上海: 上海理工大学, 2006.
- [19] 华泽钊. 冷冻干燥新技术[M]. 北京: 科学出版社, 2005: 128-129.
- [20] WU Long, ORIKASA T, OGAWA Y, et al. Vacuum drying characteristics of eggplants[J]. J Food Eng, 2007, 83(3): 422-429.
- [21] 江水泉, 张海东, 刘木华. 真空冷冻干燥技术在三七加工中的应用[J]. 粮食与食品工业, 2003(1): 36-38.