

# 干燥温度对 NaHSO<sub>3</sub> 处理后延胡索品质的影响

李华林<sup>1,2</sup>, 王丽霞<sup>1</sup>, 崔龙<sup>3</sup>, 王嫻<sup>3</sup>, 冯文豪<sup>3</sup>, 陈云堂<sup>3</sup>, 李庆鹏<sup>2\*</sup>

(1. 天津科技大学 食品科学与工程学院, 天津 300450; 2. 农业农村部农产品质量安全

收贮运管控重点实验室/中国农业科学院农产品加工研究所, 北京 100193;

3. 河南省科学院同位素研究所有限责任公司, 郑州 450015)

**摘要:** **目的** 研究不同干燥温度 (40、50、60、70、80 °C) 对 NaHSO<sub>3</sub> 处理后干燥 9 h 后, 延胡索贮藏前最适宜的干燥条件。**方法** 利用高效液相色谱仪 (High Performance Liquid Chromatography, HPLC)、电子眼等方法测定延胡索成分品质变化。**结果** 在干燥时间为 9 h 条件下, 干燥温度为 80 °C 时, 总灰分含量显著增加至 3.47%, 盐酸黄连碱、盐酸小檗碱含量分别达到 0.04%、0.03%; 延胡索甲素、延胡索乙素含量在 70 °C 时最高, 分别为 0.13%、0.35%; 脱氢紫堇碱在 60 °C 时含量最高, 为 0.42%; 干燥温度为 50 °C 时, 醇溶出物含量最高, 为 21.84%; 随着干燥温度的升高, 原阿片碱、盐酸巴马汀受温度影响均不显著, 而延胡索样品褐变越严重。**结论** 延胡索贮藏前最适宜干燥温度为 40~60 °C, 水分含量低于 6%。适宜的干燥温度, 能最大限度地保障延胡索后期保鲜贮藏期间的品质, 延长延胡索货架期, 进而为延胡索保持较好的品质提供理论支撑。

**关键词:** 延胡索; 温度; 贮藏品质

**中图分类号:** R284

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1001-3563(2024)07-0112-07

**DOI:** 10.19554/j.cnki.1001-3563.2024.07.015

## Effect of Drying Temperature on Quality of *Corydalis Yanhusuo* after NaHSO<sub>3</sub> Treatment

LI Hualin<sup>1,2</sup>, WANG Lixia<sup>1</sup>, CUI Long<sup>3</sup>, WANG Xian<sup>3</sup>, FENG Wenhao<sup>3</sup>,  
CHEN Yuntang<sup>3</sup>, LI Qingpeng<sup>2\*</sup>

(1. College of Food Science and Engineering, Tianjin University of Science and Technology, Tianjin 300450, China;

2. Key Laboratory of Agro-products Quality and Safety Control in Storage and Transport Process, Ministry of Agriculture and Rural Affairs/Institute of Food Science and Technology, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China; 3. Institute of Isotope Research, Henan Academy of Science, Zhengzhou 450015, China)

**ABSTRACT:** The work aims to study the effects of different drying temperature (40, 50, 60, 70, 80 °C) on NaHSO<sub>3</sub> treatment and drying for 9 h, and determine the most suitable drying conditions for *Corydalis yanhusuo* before storage. High performance liquid chromatography (HPLC), electronic eye, and other methods were used to determine the quality changes of components in *Corydalis yanhusuo*. The results showed that under the condition of a drying time of 9 h at 80 °C, the total ash content significantly increased to 3.47%, and the contents of berberine hydrochloride and berberine hydrochloride reached 0.04% and 0.03% respectively. The highest content of tetrahydropalmatine A and tetrahydropalmatine B was 0.13% and 0.35% at 70 °C, respectively. The highest content of dehydrocolline was 0.42% at 60 °C. When the drying temperature was

收稿日期: 2023-05-17

基金项目: 河南省科学院重大科研项目聚焦项目 (210104005); 河南省科学院对外科技合作项目 (220904004); 国家自然科学基金项目 (31660467)

\*通信作者

50 °C, the highest content of alcohol soluble substance was 21.84%. As the drying temperature increased, the effects of temperature on protoopoid alkaloids and palmatine hydrochloride were not significant. However, the browning of *Corydalis yanhusuo* became more severe. The optimum drying temperature of *Corydalis yanhusuo* before storage is 40~60 °C, at which the moisture content of *Corydalis yanhusuo* was less than 6%. Therefore, an appropriate drying temperature can maximize the quality of *Corydalis yanhusuo* during its later preservation and storage period, thereby extending its shelf-life and providing theoretical support for maintaining good quality of *Corydalis yanhusuo*.

**KEY WORDS:** *Corydalis yanhusuo*; temperature; storage quality

延胡索(*Corydalis yanhusuo*)又名元胡、玄胡,广泛分布于中国、日本、韩国和其他亚洲国家<sup>[1]</sup>。延胡索的最佳采收期为夏季,这一时节多雨,空气湿润。延胡索采收后,肉质块茎不易干燥,贮藏期间易出现发霉、虫蛀、变色变味、融化等问题,因此必须进行科学处理贮藏<sup>[2]</sup>。目前传统的贮藏方法包括冷藏法<sup>[3]</sup>、自然通风法<sup>[4]</sup>、干燥法<sup>[5]</sup>、对抗贮藏法<sup>[6]</sup>、化学药物熏蒸法<sup>[7]</sup>、气调贮藏法<sup>[8]</sup>等。

干燥是中药材加工、贮藏过程不可缺少的单元操作之一。目前延胡索干燥方法主要有自然晾干<sup>[9]</sup>、热风干燥<sup>[10]</sup>、微波干燥<sup>[11]</sup>、冷冻干燥<sup>[12]</sup>等。中药材成分复杂,水分含量直接影响延胡索在后期贮藏期间的品质<sup>[2]</sup>。因此,为减少贮藏期间延胡索有效活性成分损失,选择适当的干燥方式加工处理延胡索,显得尤为重要。目前,加工和炮制方法对延胡索品质的影响报道较多<sup>[13~16]</sup>,主要研究延胡索有效成分影响<sup>[17]</sup>,对于干燥温度影响延胡索中水分含量、生物碱、外观性状及理化成分的研究报道较少。而温度是药材干燥过程中一个非常重要的影响干燥结果的因素<sup>[18]</sup>。前人研究表明,一般含有甙类和生物碱的药材干燥温度为50~60 °C,富含维生素的药材可用70~90 °C快速干燥,对含有挥发性油的药材一般干燥温度不高于35 °C<sup>[19]</sup>,故药材的含水量与贮藏具有重要的相关性<sup>[20]</sup>。本试验通过探究不同热风干燥时间下对延胡索含水量变化,进而深入探究干燥温度对延胡索贮藏品质的影响,从而筛选出延胡索贮藏前最佳干燥温度。

## 1 试验

### 1.1 材料

主要材料:延胡索,郑州市中药材市场;色谱级原阿片碱、盐酸黄连碱、脱氢紫堇碱、延胡索甲素标准品,四川省维克奇生物科技有限公司;色谱级盐酸巴马汀、延胡索乙素标准品,成都麦德生科技有限公司;色谱级盐酸小檗碱,北京润泽康生物科技有限公司;分析级亚硫酸氢钠、乙酸、色谱级甲醇、娃哈哈纯净水,北京广达恒益科技有限公司;分析级三乙胺,上海高信化玻璃仪器有限公司。

主要仪器:Waters e2695 高效液相色谱仪,美国沃特世公司;2489 UV detector 紫外检测器,美国沃特世公司;PEN3 电子鼻,德国 AirSense 公司;Digi Eye

电子眼,英国 VeriVide 公司;Lindberg 马弗炉,美国赛默飞公司;Neofugel 15R 台式高速冷冻离心机,力康生物医药科技控股有限公司;AB265-S 万分之一分析天平,瑞士梅特勒托利多公司;DHG-9140A 恒温干燥箱,苏州维菱电子科技有限公司。

## 1.2 方法

### 1.2.1 样品前处理

延胡索样品制备参考前期研究 NaHSO<sub>3</sub> 降解 AFB<sub>1</sub> 超标延胡索中的 AFB<sub>1</sub> 降解条件处理。将处理后的延胡索样品中 NaHSO<sub>3</sub> 溶液过滤,而后置于干燥箱中在不同温度条件下(40、50、60、70 和 80 °C)干燥处理;将处理后的延胡索样品中 NaHSO<sub>3</sub> 溶液过滤,而后置于干燥箱中在不同干燥时间条件下(0、3、6、9、12 h)干燥处理。

### 1.2.2 含水量测定

含水量参考 GB 5009.3—2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》<sup>[21]</sup>。

### 1.2.3 干燥时间测定

将 NaHSO<sub>3</sub> 处理后的延胡索样品在 60 °C 条件下干燥,干燥时间分别为 3、6、9、12、15 h,测定干燥延胡索的含水量。

### 1.2.4 生物碱测定

参考王欢等<sup>[22]</sup>方法提取延胡索中生物碱,稍有改动。另参考曾莹等<sup>[23]</sup>方法测定延胡索生物碱含量(文中均指质量分数),稍有改动。

### 1.2.5 灰分测定

灰分含量参考 GB 5009.4—2016《食品安全国家标准 食品中灰分的测定》<sup>[24]</sup>。

### 1.2.6 色泽测定

将延胡索样品粉碎,过 40 目筛。取适量样品平铺于 3 mm 一次性培养皿中,置于电子眼下拍摄。

### 1.2.7 醇溶出物测定

根据《中国药典》(2020 版)通则 2201 中<sup>[25]</sup>热浸法测定醇溶出物。

## 1.3 数据分析

利用 OriginPro 2018 软件作图;利用 IBM SPSS Statistics 20 对数据进行显著性分析, $P<0.05$ ,每个试

验均重复3次。

## 2 结果与分析

### 2.1 干燥温度对 $\text{NaHSO}_3$ 处理后的延胡索中水分含量的影响

干燥温度对  $\text{NaHSO}_3$  处理后的延胡索中水分含量具有显著影响,结果见图1。根据《中国药典》(2020版)<sup>[25]</sup>要求延胡索药材干燥后的水分含量不得高于15.0%。因此,将  $\text{NaHSO}_3$  处理后的延胡索置于60℃的干燥箱中干燥,随着干燥时间增加,延胡索中水分含量呈现降低趋势。如图1a结果可知,随着干燥时间的增加,处理后的延胡索含水量逐渐降低,干燥9h时含水量为(4.70±0.15)%。将  $\text{NaHSO}_3$  处理后的延胡索分别置于40、50、60、70、80℃的干燥箱中

干燥9h,结果如图1b所示,延胡索中的水分含量均低于13.0%。因此,将干燥时间9h作为后续试验干燥时长,且在40~80℃条件下干燥延胡索均可满足其对水分含量的要求。

### 2.2 干燥温度对 $\text{NaHSO}_3$ 处理后的延胡索中总灰分含量的影响

随着干燥温度的增加,干基  $\text{NaHSO}_3$  处理后延胡索中的总灰分含量增加,80℃时显著增加至3.47%(见图2a)。这是因为干燥过程处于高温有氧条件,不仅使得其所含的挥发性成分难以保留,也会在一定程度上破坏延胡索中的热敏性成分,无机物成分占比增加,进而导致灰分含量增加<sup>[26-27]</sup>。这一结果与干燥根茎药材当归时的当归灰分含量变化规律一致<sup>[28]</sup>。因此,40~70℃条件下干燥9h为延胡索灰分最佳条件。

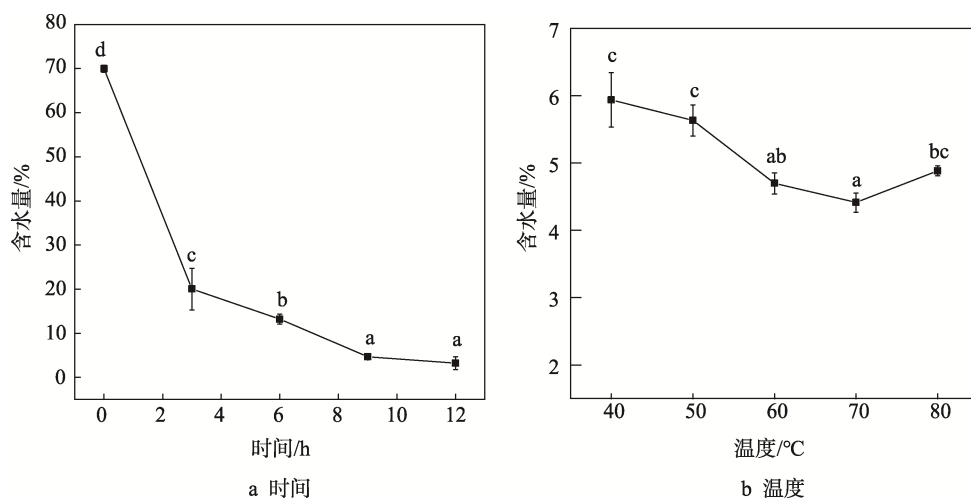


图1 不同干燥时间和温度对  $\text{NaHSO}_3$  处理后延胡索中含水量变化  
Fig.1 Change of water content in *Corydalis yanhusuo* after  $\text{NaHSO}_3$  treatment with different drying time and temperature  
注: 字母不同表示差异显著 ( $P<0.05$ )。

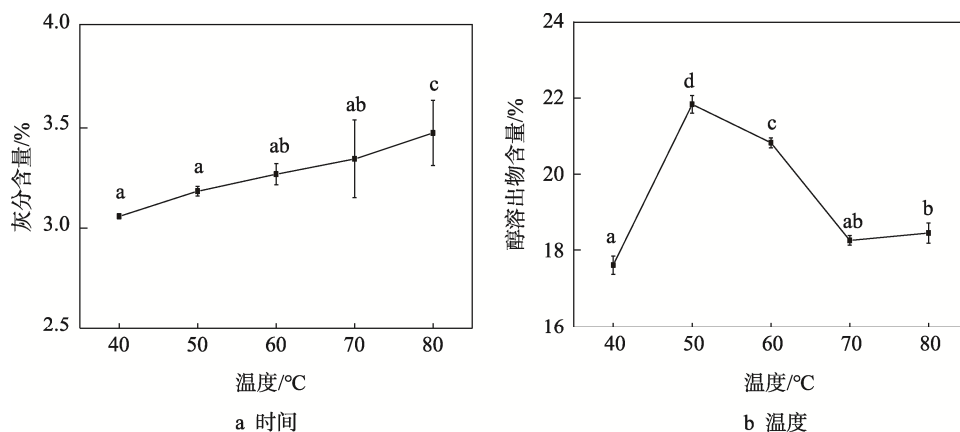


图2 不同干燥温度下  $\text{NaHSO}_3$  处理后延胡索中总灰分、醇溶出物含量变化  
Fig.2 Changes in content of total ash and alcohol soluble matter in *Corydalis yanhusuo* after  $\text{NaHSO}_3$  treatment dried at different temperature  
注: 字母不同表示差异显著 ( $P<0.05$ )。

2.3 干燥温度对 NaHSO<sub>3</sub> 处理后的延胡索中醇溶出物含量的影响

随着干燥温度增加,干基 NaHSO<sub>3</sub> 处理后延胡索中的醇溶出物含量先上升后下降, 50 °C 干燥时含量最高为 21.84%(见图 2b)。这是因为 NaHSO<sub>3</sub> 处理后,延胡索溶解度降低,在较低温度下干燥,延胡索中的水分缓慢从内而外迁移,更易于醇溶出物溶出;而在较高温度下干燥,延胡索中的部分水分在表面即被快速蒸发,使得溶出物不易溶出<sup>[29]</sup>。因此,40~80 °C 条件下干燥 9 h 为延胡索醇溶出物最佳条件。

2.4 干燥温度对 NaHSO<sub>3</sub> 处理后的延胡索中生物碱含量的影响

延胡索生物碱具有多种药理活性<sup>[30-32]</sup>,而在较高温度下干燥,易使生物碱氧化<sup>[33]</sup>。因此,本试验以干基延胡索中 7 种生物碱含量变化评价干燥温度对 NaHSO<sub>3</sub> 处理后延胡索品质的影响。表 1 中为 7 种生物碱的标准品曲线,横坐标为各个生物碱的峰面积,

纵坐标为生物碱的质量浓度,单位为 mg/mL。其中,每个生物碱的标准曲线,  $R^2$  均大于 0.95,说明线性良好。随着干燥温度增加,原阿片碱、盐酸巴马汀含量变化均不显著,含量分别为 0.05%、0.30% (见图 3a、c); 80 °C 干燥时盐酸黄连碱、盐酸小檗碱含量相较于 40 °C 干燥时分别显著增加了 0.007 百分点、0.003 百分点 (见图 3b、d); 脱氢紫堇碱含量先上升后

表 1 延胡索中 7 种生物碱标准曲线  
Tab.1 Standard curve of 7 alkaloids in *Corydalis yanhusuo*

| 生物碱名称 | 标准曲线                         | $R^2$   |
|-------|------------------------------|---------|
| 原阿片碱  | $y=2\times10^7x-53\ 233$     | 0.999 4 |
| 盐酸黄连碱 | $y=5\times10^7x+189\ 784$    | 0.978   |
| 盐酸巴马汀 | $y=7\times10^7x-2\ 000\ 000$ | 0.962 3 |
| 盐酸小檗碱 | $y=2\times10^8x-247\ 903$    | 0.999 6 |
| 脱氢紫堇碱 | $y=6\times10^7x-717\ 261$    | 0.998 0 |
| 延胡索乙素 | $y=6\times10^6x+14\ 389$     | 0.998 2 |
| 延胡索甲素 | $y=2\times10^7x+40\ 090$     | 0.999 1 |

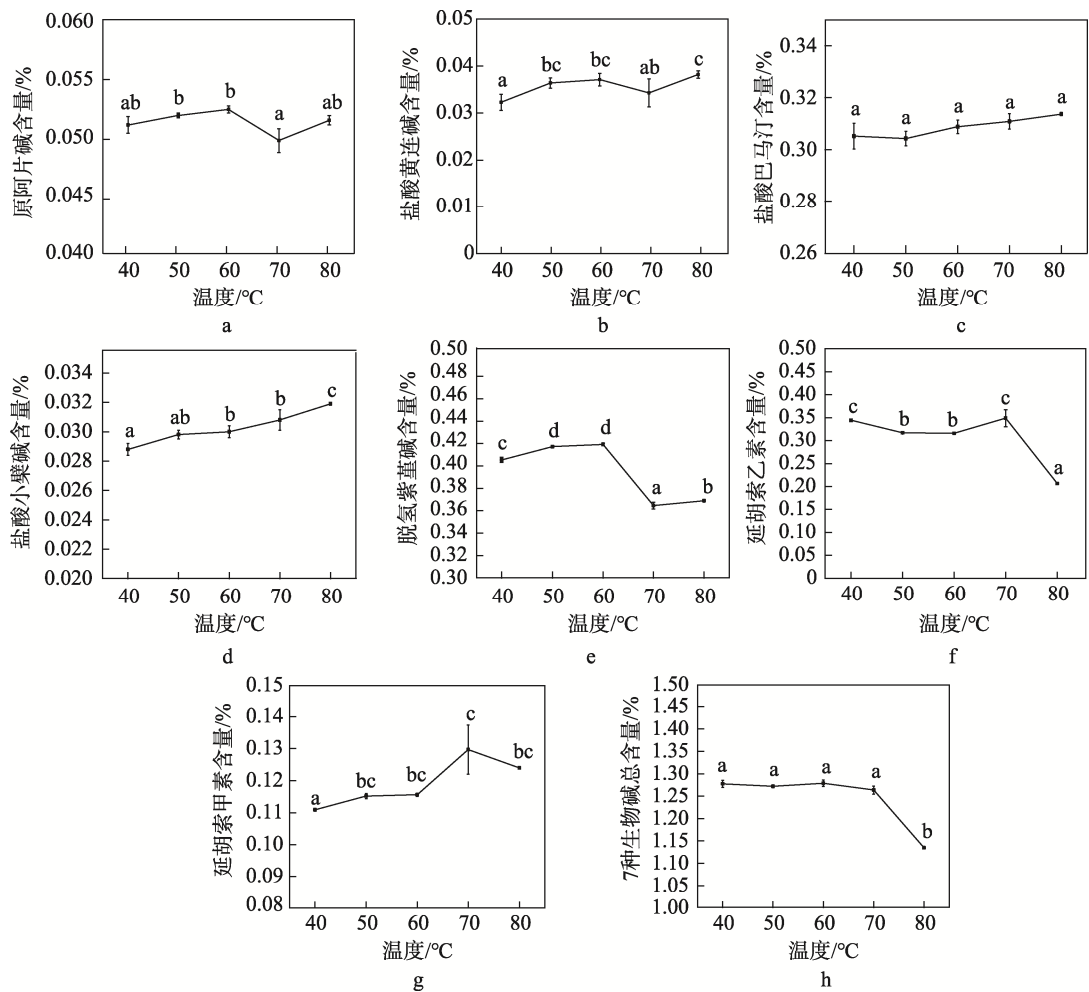


图 3 不同干燥温度下 NaHSO<sub>3</sub> 处理后延胡索中 7 种生物碱含量的变化  
Fig.3 Changes in content of 7 alkaloids in *Corydalis yanhusuo* after NaHSO<sub>3</sub> treatment dried at different temperature  
注: 字母不同表示差异显著 (P<0.05)。

下降, 60℃干燥时达到最高, 含量为 0.42% (见图 3e); 延胡索乙素含量呈现先上升后下降趋势, 70℃干燥时达到最高, 含量为 0.35% (见图 3f); 延胡索甲素含量逐渐增加, 70℃干燥时延胡索甲素含量相较于 40℃干燥时增加了 0.02 百分点 (见图 3g); 40℃干燥时, 延胡索中 7 种生物碱总含量为 1.28%, 而 80℃干燥时, 7 种生物碱总量显著降低为 1.13% (见图 3h)。其中, 经过不同温度干燥后的延胡索乙素含量均满足《中国药典》(2020 版)<sup>[25]</sup>不低于 0.05% 的要求 (图 3f)。因此, 在 40~60℃条件下干燥 9 h 为延胡索生物碱含量的最佳条件。

## 2.5 干燥温度对 NaHSO<sub>3</sub> 处理后的延胡索色泽的影响

经 NaHSO<sub>3</sub> 处理的延胡索在干燥过程中由于需要加热延胡索自身易受温度的影响发生褐变, 导致

颜色发生变化。色泽数据  $L^*$  值表示白度值,  $L^*$  值越大, 表明样品色泽越白;  $a^*$  值表示红度值,  $a^*$  值越大, 表明样品色泽越红;  $b^*$  值表示黄度值,  $b^*$  值越大, 表明样品色泽越黄。不同干燥温度对延胡索色泽的影响, 如图 4 所示。80℃干燥时的延胡索色泽明显变暗。从图 5 可知, 不同干燥温度条件下, 干燥的延胡索的不同, 随着干燥温度的升高, 延胡索  $L^*$  值呈现降低趋势,  $a^*$  值逐渐升高,  $b^*$  值呈现先下降后升高趋势, 40℃时,  $L^*$  值最大,  $\Delta E^*$  值最小。当温度大于 60℃,  $\Delta E^*$  值显著增加, 说明延胡索颜色在高温干燥过程中发生变化, 这可能是因为干燥温度升高, 空气介质流速逐渐加快, 水蒸气压逐渐减少, 使物料表面水分快速蒸发, 还原糖和氨基酸发生美拉德反应<sup>[34]</sup>。因此, 在 50~60℃条件下干燥处理时, 经 NaHSO<sub>3</sub> 处理的延胡索能够保持较好的色泽。

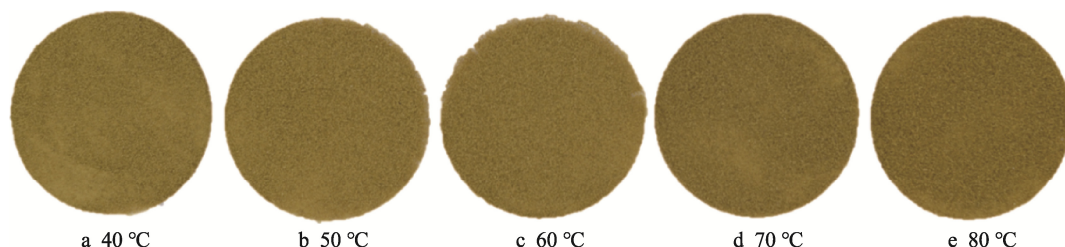


图 4 不同干燥温度下 NaHSO<sub>3</sub> 处理后延胡索电子眼

Fig.4 Electronic eye images of *Corydalis yanhusuo* treated with NaHSO<sub>3</sub> dried at different temperature

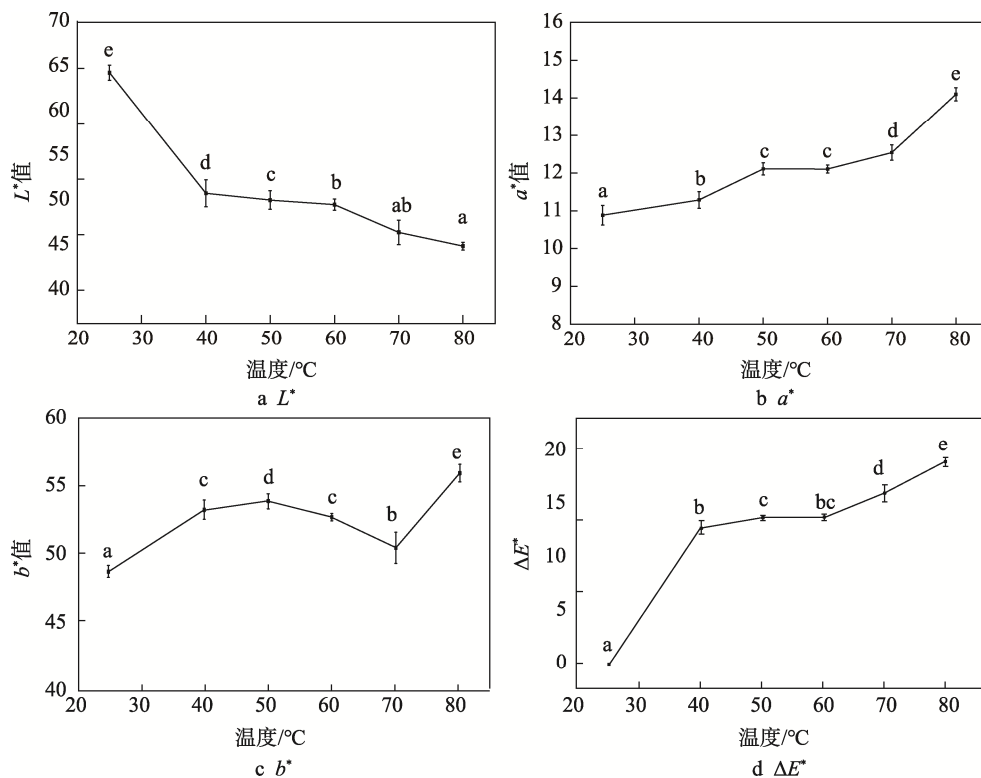


图 5 不同干燥温度下 NaHSO<sub>3</sub> 处理后延胡索色泽变化

Fig.5 Changes in color of *Corydalis yanhusuo* after NaHSO<sub>3</sub> treatment dried at different temperature

### 3 结语

本研究通过对干燥时间的确定, 进而研究不同温度干燥后的 NaHSO<sub>3</sub> 处理的延胡索中水分含量、延胡索乙素含量、灰分含量、醇溶出物测定。得出通过干燥技术可延长延胡索的贮藏时间, 但干燥过程中, 干燥温度对延胡索中的有效成分有一定的影响。干燥温度为 80 °C 时灰分含量显著增加至 3.47%; 随着干燥温度的增加, 延胡索中的醇溶出物含量先上升后下降, 50 °C 干燥时含量最高为 21.84%, 盐酸黄连碱含量逐渐增加, 80 °C 干燥时盐酸黄连碱、盐酸小檗碱含量均达到最高; 延胡索甲素、延胡索乙素含量在 70 °C 干燥条件下达到最高; 脱氢紫堇碱含量在 60 °C 干燥时达到最高; 干燥温度为 40 °C 时, 延胡索中 7 种生物碱总含量为 1.28%, 干燥温度 80 °C 时含量显著降低到 1.13%。随着温度干燥的上升, 延胡索色泽相较于 40、50、60 °C 干燥条件下, 70、80 °C 条件下延胡索褐变严重。而大多中药材在贮藏期间发生霉变, 会引起某些有效成分含量下降, 色泽发生变化等。综上所述, 适宜的干燥条件可延长延胡索的贮藏期, 降低贮藏期间有效成分减少、变色等问题出现的概率, 为延胡索加工、贮藏、运输技术提供科学依据, 提高延胡索用药质量。

### 参考文献:

- [1] ALHASSEN L, DABBOUS T, HA A, et al. The Analgesic Properties of Corydalis Yanhusuo[J]. *Molecules*, 2021, 26(24): 7498.
- [2] MONSALVE J R, GAVIRIA L J, CORREA A A. Use of Freeze-Dried Aromatic Herbs with Quality Organoleptic Characteristics in Gastronomic Products[J]. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 2021, 24: 1-7.
- [3] 吴翠, 马玉翠, 洪专, 等. 4 种根茎类中药材在简易库和冷藏库中的理化指标分析[J]. *中国实验方剂学杂志*, 2018, 24(8): 60-64.  
WU C, MA Y C, HONG Z, et al. Analysis on Physiochemical Indexes of Four Kinds of Rhizome Chinese Medicinal Herbs Stored in Simple and Cool Warehouses[J]. *Chinese Journal of Experimental Traditional Medical Formulae*, 2018, 24(8): 60-64.
- [4] 王丽. 南京市医院药房中药饮片问题调查及对策研究[D]. 南京: 东南大学, 2018.  
WANG L. Investigation and Countermeasure Study on the Problem of Traditional Chinese Medicine Slices in Hospital Pharmacy of Nanjing City[D]. Nanjing: Southeast University, 2018.
- [5] CHAM T C, NG M X, GAN S H, et al. Effect of Ambient Conditions on Drying of Herbs in Solar Greenhouse Dryer with Integrated Heat Pump[J]. *Drying Technology*, 2017, 35(14): 1721-1732.
- [6] LI B Y, ZHANG J W, ZHENG Y, et al. Insecticidal and Repellent Effects of the Essential Oils Extract from *Zanthoxylum Myriacanthum* Against Three Storage Pests[J]. *Chemistry & Biodiversity*, 2023, 20(2): 1-12.
- [7] MA H Y, LIU S S, QU W S, et al. Comparison of the Antioxidant Activities of Nonfumigated and Sulphur-Fumigated *Chrysanthemum Morifolium* Cv. Hang-Ju Induced by Oxidative Stress[J]. *Pharmaceutical Biology*, 2021, 59(1): 40-46.
- [8] WANG H, XU N, PENG Y, et al. The Determination of Low Oxygen Threshold in Garlic Scapes during Controlled Atmosphere Storage[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2022, 102(11): 4949-4954.
- [9] MARIAM L W, MOHAMED A, TILAHUM D. Effect of Rhizome Types, Drying Thickness and Drying Materials on the Quality of Turmeric (*Curcuma longa* L.) in Tepi, South Western Ethiopia[J]. *Agricultural Research and Technology*, 2017, 11(2): 1-8.
- [10] OJEDIRAN J O, OKONKWO C E, ADEYI A J, et al. Drying Characteristics of Yam Slices (*Dioscorea Rotundata*) in a Convective Hot Air Dryer: Application of ANFIS in the Prediction of Drying Kinetics[J]. *Heliyon*, 2020, 6(3): 1-12.
- [11] YE S Y, WANG Z, SHEN J Y, et al. Sensory Qualities, Aroma Components, and Bioactive Compounds of *Anoectochilus roxburghii* (Wall.) Lindl. as Affected by Different Drying Methods[J]. *Industrial Crops and Products*, 2019, 134: 80-88.
- [12] HARDTER N, GEIDOBLE R, PRESSER I, et al. Accelerated Production of Biopharmaceuticals via Microwave-Assisted Freeze-Drying (MFD)[J]. *Pharmaceutics*, 2023, 15(5): 1342-1357.
- [13] ZHENG Z A, WANG S Y, ZHANG C J, et al. Hot Air Impingement Drying Enhanced Drying Characteristics and Quality Attributes of *Ophiopogonis Radix*[J]. *Foods*, 2023, 12(7): 1441.
- [14] SILPA S G, SMITHA G R, RANJITHA K. Drying and Packaging Methods Impact the Bacoside Profile and Microbiological Quality of Brahmi Herb (*Bacopa Monnieri* L.) during Storage[J]. *Industrial Crops & Products*, 2021, 159: 1-8.
- [15] CALÍN-SÁNCHEZ Á, LIPAN L, CANO-LAMADRID M, et al. Comparison of Traditional and Novel Drying Techniques and Its Effect on Quality of Fruits, Vegetables and Aromatic Herbs[J]. *Foods*, 2020, 9(9): 1261.
- [16] ZHU W L, ZHANG Y N, HUANG Y J, et al. Chinese Herbal Medicine for the Treatment of Drug Addic-

- tion[J]. International Review of Neurobiology, 2017, 135: 279-295.
- [17] WU H W, WALDBAUER K, TANG L Y, et al. Influence of Vinegar and Wine Processing on the Alkaloid Content and Composition of the Traditional Chinese Medicine *Corydalis Rhizoma* (Yanhusuo)[J]. Molecules, 2014, 19(8): 11487-11504.
- [18] MUTHUKUMAR P, LAKSHMI D V N, KOCH P, et al. Effect of Drying Air Temperature on the Drying Characteristics and Quality Aspects of Black Ginger[J]. Journal of Stored Products Research, 2022, 97: 1-7.
- [19] 郭新苗, 陈昊廷. 中药材最佳采收期和 初加工、贮藏方法[J]. 农村新技术, 2017(5): 52-54.
- GUO X M, CHEN H T. The Best Picking Time of Traditional Chinese Medicine Materials and Primary Processing and Storage Methods[J]. New Rural Technology, 2017(5): 52-54.
- [20] LIANG Z Y, TONG L G, YIN S W, et al. Bidirectional Hot Air Drying: an Effective Inhibitor of the Browning of Biomass Similar to Thick-Layered Honeysuckle[J]. Drying Technology, 2022, 40: 116-126.
- [21] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准 食品中水分的测定: GB 5009.3—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- National Food Safety Standard — Determination of Moisture in Food: GB 5009.3-2016[S]. Beijing: Standards Press of China, 2017.
- [22] 王欢, 毕福钧, 林彤, 等. 延胡索 HPLC 指纹图谱研究及 9 种生物碱含量测定[J]. 中药材, 2017, 40(3): 624-629.
- WANG H, BI F J, LIN T, et al. RP-HPLC Fingerprint of *Corydalis Yanhusuo* and Content Determination of Nine Alkaloids[J]. Journal of Chinese Medicinal Materials, 2017, 40(3): 624-629.
- [23] 曾莹, 刘焱, 万哲见, 等. 不同产地不同部位延胡索中 7 种生物碱类成分的比较[J]. 华西药学杂志, 2021, 36(5): 544-548.
- ZENG Y, LIU Y, WAN Z J, et al. Comparative of 7 Alkaloids in Different Parts of *Corydalis Yanhusuo* from Different Habitats[J]. West China Journal of Pharmaceutical Sciences, 2021, 36(5): 544-548.
- [24] 国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准 食品中灰分的测定: GB 5009.4—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016: 1-9.
- The National Health and Family Planning Commission. National Food Safety Standard Determination of Ash Content in Food: GB 5009.4-2016[S]. Beijing: China Standard Publishing House, 2016: 1-9.
- [25] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典—一部: 2020 年版[M]. 北京: 中国医药科技出版社, 2020: 139-145.
- National Pharmacopoeia Committee. People's Republic of China (PRC) Pharmacopoeia-Part I: 2020 Edition[M]. Beijing: China Medical Science Press, 2020: 145.
- [26] SUN F W, WU Z X, CHEN Y H, et al. Analysis of Odors from Thermally Modified Bamboo Assessed by an Electronic Nose[J]. Building and Environment, 2018, 144(15): 386-391.
- [27] QIN H W, YANG S B, YANG M Q, et al. Effects on Volatile Oil and Volatile Compounds of *Amomum tsao-ko* with Different Pre-Drying and Drying Methods[J]. Industrial Crops and Products, 2021, 174(15): 1-10.
- [28] 刘松雨, 田青青, 黄勤挽, 等. 比较传统干燥法与冷冻干燥法对当归药材成分影响[J]. 亚太传统医药, 2022, 8(10): 55-60.
- LIU S Y, TIAN Q Q, HUANG Q W, et al. Comparison of Contents of *Angelica Sinensis Radix* by Freeze-Drying Method with those by Traditional Drying Methods[J]. Asia-Pacific Traditional Medicine, 2022, 8(10): 55-60.
- [29] LIU Q R, WANG Y S, ZHANG Z L, et al. Evaluation of Quality Change in *Slviae Miltiorrhizae Radix et Rhizome* During Drying by LF-NMR and HPLC[J]. Analytical Science, 2022, 38(2): 289-298.
- [30] WAN L, ZHAO Y, ZHANG Q, et al. Alkaloid Extract of *Corydalis Yanhusuo* Inhibits Angiogenesis via Targeting Vascular Endothelial Growth Factor Receptor Signaling[J]. BMC Complementary and Alternative Medicine, 2019, 19(1): 359.
- [31] ZHANG W J, HUAI Y, MIAO Z P, et al. Systems Pharmacology for Investigation of the Mechanisms of Action of Traditional Chinese Medicine in Drug Discovery[J]. Frontiers in Pharmacology, 2019, 10: 743.
- [32] ZHANG J, HE S, WANG J, et al. A Review of the Traditional Uses, Botany, Phytochemistry, Pharmacology, Pharmacokinetics, and Toxicology of *Corydalis yanhusuo*[J]. Natural Product Communications, 2020, 15: 1-6.
- [33] 张丽慧, 郭春艳, 张文旭, 等. 不同干燥方法对山豆根主要有效成分含量的影响[J]. 中国药师, 2020, 23(2): 348-351.
- ZHANG L H, GUO C Y, ZHANG W X, et al. Effect of Different Drying Methods on the Active Components of *Sophorae Tonkinensis Radix et Rhizoma*[J]. China Pharmacist, 2020, 23(2): 348-351.
- [34] 李坤. 根茎类中药材热风干燥的失水动力学模型及特性机理研究[D]. 昆明: 云南师范大学, 2020.
- LI K. Study on the Hydrodynamic Model and Characteristic Mechanism of Hot Air Drying of Rhizome Chinese Medicinal Materials[D]. Kunming: Yunnan Normal University, 2020.