

# 不同热风干燥温度对乌天麻干燥特性及品质变化的影响

胡倩倩, 王吉文, 黄燕俊, 马宏亮\*

(中山市中智药业集团有限公司, 国家企业技术中心, 中药破壁饮片国家地方联合工程研究中心, 广东中山 528437)

**摘要:** 为研究不同热风干燥温度对乌天麻的干燥特性及品质的变化, 以新鲜的乌天麻为原料, 比较分析了不同热风干燥温度(恒温、升温、降温)对乌天麻干燥特性(干燥时间、含水量、折干比)和品质(浸出物、多糖、天麻素、对羟基苯甲醇)的影响。结果表明: 不同干燥温度对乌天麻干燥特性和品质的影响变化明显, 且不同指标的变化多呈相反趋势, 70 °C 恒温、40~70 °C 缓慢升温干燥对乌天麻的干燥时间、浸出物、天麻素含量具有显著影响 ( $P<0.05$ ), 50 °C 恒温、70~40 °C 快速降温干燥对折干比、多糖和对羟基苯甲醇的影响优势显著 ( $P<0.05$ )。综合考虑干燥特性和品质, 40~70 °C 缓慢升温干燥在保证干燥特性(干燥时间 9 d、含水量 5.98%) 优势前提下也保证了有效成分含量(浸出物 21.81 g/100 g、多糖 22.92 g/100 g、天麻素和对羟基苯甲醇总量 6.04 mg/g), 该研究为乌天麻初加工提供科学的理论依据, 指导产地乌天麻初加工标准化。

**关键词:** 乌天麻; 热风干燥; 特性; 品质

文章编号: 1673-9078(2023)04-224-230

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2023.4.0571

## Effects of Different Hot Air Drying Temperatures on the Drying Characteristics and Quality of *Gastrodia elata* Bl. F. *glauca* S. Chow

HU Qianqian, WANG Jiwen, HUANG Yanjun, MA Hongliang\*

(Zhongzhi Pharmaceutical Company, National Enterprise Technology Center, National and Local Joint Engineering Research Center of Cell-broken Decoction Pieces, Zhongshan 528437, China)

**Abstract:** In order to study the changes from drying characteristics and quality of *Gastrodia elata* Bl. F. *glauca* S. Chow in different hot-air drying temperatures, fresh *Gastrodia elata* Bl. F. *glauca* S. Chow was used as raw material, and the drying characteristics (drying time, water content, dry weight ratio) and quality (extractum, polysaccharide, gastrodin, p-hydroxybenzyl alcohol) of *Gastrodia elata* Bl. F. *glauca* S. Chow in different hot-air drying temperatures (constant temperature drying, heating temperature drying, cooling temperature drying) were compared and analyzed. The results showed that different hot-air drying temperatures had significant effects on the drying characteristics and quality of *Gastrodia elata* Bl. F. *glauca* S. Chow, and the changes of different indexes were mostly opposite. 70 °C and slowly heating temperature drying 40~70 °C had significant effects on drying time, extractum and gastrodin ( $P<0.05$ ); 50 °C and quickly cooling drying 70~40 °C had significant effects on dry weight ratio, polysaccharide and p-hydroxybenzyl alcohol ( $P<0.05$ ). Considering the drying characteristics and quality, slowly heating drying 40~70 °C also ensured the content of active ingredients (extractum 21.81 g/100 g, polysaccharide 22.92 g/100 g, gastrodin and p-hydroxybenzyl alcohol 6.04 mg/g) under the premise of ensuring the advantages of drying

引文格式:

胡倩倩,王吉文,黄燕俊,等.不同热风干燥温度对乌天麻干燥特性及品质变化的影响[J].现代食品科技,2023,39(4):224-230.

HU Qianqian, WANG Jiwen, HUANG Yanjun, et al. Effects of different hot air drying temperatures on the drying characteristics and quality of *Gastrodia elata* Bl. F. *glauca* S. Chow [J]. Modern Food Science and Technology, 2023, 39(4): 224-230.

收稿日期: 2022-05-06

基金项目: 国家企业技术中心项目(发改高技[2020]1918号); 中药破壁饮片国家地方联合工程研究中心项目(发改办高技[2019]180号)

作者简介: 胡倩倩(1988-), 女, 硕士, 主管中药师, 研究方向: 中药材资源开发利用研究及中药材种植生产研究, E-mail: 809477717@qq.com

通讯作者: 马宏亮(1979-), 男, 博士, 高级工程师, 研究方向: 中药材种质资源评价研究、中药材栽培技术研究及药用植物代谢组学研究, E-mail:

mhl008@126.com

characteristics (drying time 9 d, water content 5.98%). This study provided scientific theoretical basis for preliminary processing of *Gastrodia elata* Bl. F. *glauca* S. Chow, and guided the standardization of initial processing of *Gastrodia elata* Bl. F. *glauca* S. Chow.

**Key words:** *Gastrodia elata* Bl. F. *glauca* S. Chow; hot-air drying; characteristic; quality

天麻 (*Gastrodia elata* Bl.) 为兰科植物, 有赤箭、明天麻等之称, 药用部位为块茎, 是我国传统大宗名贵药食同源中药材, 始载于《神农本草经》, 药用历史距今已长达二千多年<sup>[1]</sup>。天麻富含多种生物活性成分, 具有息风止痉、平抑肝阳、祛风通络等功效, 主要治疗小儿惊风、癫痫抽搐、破伤风、头痛眩晕、手足不遂、肢体麻木、风湿痹痛等病症<sup>[2]</sup>; 多糖作为天麻重要活性成分之一, 具有抗衰老、抗眩晕、降血压、增强免疫等多种药理作用<sup>[3]</sup>, Li 等<sup>[4]</sup>和 Park 等<sup>[5]</sup>研究表明天麻多糖对阿尔茨海默氏症具有显著的治疗作用。

新鲜天麻皮薄、汁液多、质地鲜嫩, 不易储存和运输, 采挖后需尽快加工干燥, 防止腐烂变质, 最大程度地保留药效活性成分。天麻历代加工方法较多, 在产地形成了各自的加工习惯, 但传统加工流程基本相似: 清洗—杀青—干燥, 其中杀青方法煮和蒸、干燥方法晒和烘沿用至今<sup>[6,7]</sup>。杀青以透心为宜, 杀青不充分天麻变黑, 品质下降<sup>[8]</sup>。相关标准<sup>[2,9]</sup>规定采用蒸制杀青, 因蒸制更利于有效成分的保留, 提升天麻品质。宁子琬等<sup>[10-13]</sup>研究也证明蒸制天麻优于煮制天麻。关于天麻干燥现有研究中主要有微波、红外、冷冻、真空以及热风微波、热风红外联用新技术<sup>[8,14,15]</sup>, 科研中使用的红外、冷冻、真空技术较难在生产中推广应用, 而热风干燥是产地中药材初加工普遍使用的方法。热风干燥是把热空气吹入烘箱或者烘干室内, 通过自然或者加强对流循环的方式和加工的药材、食品等物质进行交换<sup>[16]</sup>。热风干燥较晒干和其它新技术干燥方式效率高、成本低、品质优<sup>[7]</sup>。天麻传统加工还使用了“发汗”的方法<sup>[9]</sup>, “发汗”过程可促进天麻中糖苷类物质的转化积累<sup>[17]</sup>。

中药材产地加工是中药全产业链中保证品质的关键环节之一, 不同的加工方法与药材品质关系密切, 并影响着药理药效作用。乌天麻 (*Gastrodia elata* Bl. F. *glauca* S. Chow) 性状好、品质优、产量高, 被誉为国产天麻中的“极品”<sup>[6]</sup>。本文通过不同热风干燥温度对乌天麻进行处理, 研究其干燥特性变化, 分析不同温度对浸出物、多糖、天麻素和对羟基苯甲醇有效物质含量的影响, 从而确定适宜的热风干燥温度条件, 优化升级产地乌天麻初加工, 为乌天麻的综合利用和深度开发提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

#### 1.1.1 材料

新鲜乌天麻药材采挖于云南省昭通市, 精选二级品 (100~150 g/个)。经昭通市天麻研究所所长陈顺芳教授和中智药业集团中药材高级鉴定师贾世清研究员鉴定为兰科植物乌天麻。

#### 1.1.2 试剂

对照品: D-无水葡萄糖、天麻素、对羟基苯甲醇, 购于中国食品药品检定研究院; 试剂: 乙腈、磷酸、95%乙醇、苯酚、浓硫酸, 购于广东广试试剂科技有限公司。

### 1.2 仪器与设备

DHG-9123A 电热鼓风干燥箱, 上海一恒科学仪器有限公司; UV-2600 紫外分光光度仪, 日本岛津公司; U3000 高效液相色谱仪, 赛默飞世尔科技公司; 明澈 D24UV 超纯水机, 德国默克密理博公司; ME203E、ME204 电子天平, 梅特勒-托利多仪器 (上海) 有限公司; HH4-双列 4 孔数显恒温水浴锅, 常州澳华仪器有限公司; M105 中药磨粉机, 金华市旋风药材机械厂; KQ-700DE 数控超声波清洗器, 昆山市超声仪器有限公司; GT10-1 高速台式离心机, 北京时代北利离心机有限公司。

### 1.3 方法

#### 1.3.1 样品处理

将乌天麻洗净, 待表面水分挥干, 放置蒸笼, 蒸制 30 min, 至透心, 进行不同热风干燥温度处理 (表 1)。

#### 1.3.2 干燥特性测定

##### 1.3.2.1 干燥时间

乌天麻干燥至安全含水量所用的总时间, 其值包括热风干燥时间与发汗时间, 干燥时间计算公式如下:

$$\Delta T = t_1 - t_0 \quad (1)$$

式中:

$\Delta T$ ——干燥时间, d;

$t_1$ ——干燥截止时间, d;

$t_0$ ——干燥开始时间, d。

表1 不同热风干燥温度具体处理

Table 1 Specific methods for different hot-air drying temperatures

| 编号             | 干燥温度       | 干燥步骤   |
|----------------|------------|--|
| T <sub>1</sub> | 50℃恒温      | 50℃干燥24h, 发汗12h, 反复干燥发汗至样品干透, 取出。  |
| T <sub>2</sub> | 70℃恒温      | 70℃干燥24h, 发汗12h, 反复干燥发汗至样品干透, 取出。  |
| T <sub>3</sub> | 40~70℃缓慢升温 | 40℃干燥24h, 发汗12h; 50℃干燥24h, 发汗12h; 60℃干燥24h, 发汗12h; 70℃干燥24h, 发汗12h, 反复干燥发汗至样品干透, 取出。 |
| T <sub>4</sub> | 70~40℃缓慢降温 | 70℃干燥24h, 发汗12h; 60℃干燥24h, 发汗12h; 50℃干燥24h, 发汗12h; 40℃干燥24h, 发汗12h, 反复干燥发汗至样品干透, 取出。 |
| T <sub>5</sub> | 70~40℃快速降温 | 70℃干燥24h, 发汗12h; 40℃干燥24h, 发汗12h, 反复干燥发汗至样品干透, 取出。                                   |

注: 发汗即回潮, 将天麻样品分别集中堆放于洁净容器中, 覆盖棉纱布, 室温条件下发汗。

### 1.3.2.2 含水量

参照2020版《中国药典》水分测定烘干法(通则0832第二法)检测干品乌天麻含水量, 干品乌天麻样品中水分含量计算公式如下:

$$W = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100\% \quad (2)$$

式中:

W—干品乌天麻样品中水分含量, %;

m<sub>1</sub>—称取干品乌天麻样品重量, g;

m<sub>2</sub>—干燥至恒重的干品乌天麻样品重量, g。

### 1.3.2.3 折干比

中药材折干比是中药材经干燥后的比重, 可作为新鲜乌天麻加工成干品产量高低的评价指标, 折干比计算公式如下:

$$Wr = M_0 / M_1 \quad (3)$$

式中:

Wr—折干比, g/g;

M<sub>0</sub>—新鲜乌天麻重量, g;

M<sub>1</sub>—干乌天麻重量, g;

### 1.3.3 浸出物含量测定

参照2020版《中国药典》天麻项下浸出物规定, 采用醇溶性浸出物测定法(通则2201)项下的热浸法测定。精密称取乌天麻粉末2g, 加入稀乙醇50mL, 称重, 静置1h, 回流煮沸1h, 冷却, 补足减失重量, 摇匀过滤, 精密移取滤液25mL置烘干至恒重的蒸发皿中, 挥发完试剂, 于105℃干燥3h, 冷却称重。浸出物含量计算公式如下:

$$E = \frac{(w_2 - w_1) \times v_1}{v_2 \times w_0} \times 100\% \quad (4)$$

式中:

E—浸出物含量, g/100g;

w<sub>0</sub>—去除含水量的乌天麻粉末重量, g;

w<sub>1</sub>—烘干至恒重的蒸发皿重量, g;

w<sub>2</sub>—烘干至恒重的浸出物及蒸发皿重量, g;

v<sub>1</sub>—乌天麻粉末溶解于试剂的总容量, mL;

v<sub>2</sub>—移取到蒸发皿中的溶液量, mL。

### 1.3.4 多糖含量测定

乌天麻多糖含量测定参考文献<sup>[18]</sup>, 并进行了修改, 采用硫酸-苯酚法。

#### 1.3.4.1 多糖标准曲线绘制

精密称取D-无水葡萄糖对照品0.01g, 配置成0.10mg/mL对照品溶液。精密称取苯酚5g, 配置成质量分数为5%的苯酚溶液待用。分别移取对照品溶液0.0、0.4、0.8、1.2、1.6、2.0mL至具塞试管中, 加纯水定容到2.0mL, 加入1.0mL苯酚溶液和5.0mL浓硫酸, 静置15min, 沸水中水浴15min, 冰浴快速冷却, 在波长490nm处测量吸光度值, 建立标准曲线。标准曲线公式如下:

$$Y = 12.748X + 0.0084, R^2 = 0.9998 \quad (5)$$

式中:

X—D-无水葡萄糖溶液浓度, mg/mL;

Y—490nm波长下的吸光度, Abs。

#### 1.3.4.2 供试样品的测定

精密称取乌天麻粉末5g, 按料液比1:30加入φ=80%乙醇, 超声浸提(温度45℃、时间55min), 过滤晾干, 制成乌天麻粉末备用。精密称定已处理的乌天麻粉末2g, 按料液比1:30加入去离子水, 超声浸提(温度45℃、时间55min), 将溶液定容100mL, 震荡, 离心(时间5min, 转速7000r/min), 取上清液5mL, 定容50mL作为供试样品溶液, 参照1.3.4.1方法测定吸光度, 多糖含量P(g/100g)计算公式如下:

$$P = \frac{C \times D \times V}{m} \times 100\% \quad (6)$$

式中:

P—多糖含量, g/100g;

C—供试样品葡萄糖浓度, mg/mL;

m—已经预处理的样品重量, g;

D—多糖稀释倍数;

$V$ —反应体系总体积, mL。

### 1.3.5 天麻素和对羟基苯甲醇含量测定

参照 2020 版《中国药典》含量测定项下规定, 采用高效液相色谱法 (通则 0512) 测定。

#### 1.3.5.1 色谱条件

液相色谱柱: Agilent 5 TC-C18 (4.6 mm×250 mm, 5  $\mu$ m); 洗脱流动相: 流动相 A 为乙腈, 流动相 B 为  $m=0.05\%$  磷酸溶液, A:B=3:97; 检测波长 220 nm, 流速 1 mL/min, 柱温 25  $^{\circ}$ C, 进样量 5  $\mu$ L。

#### 1.3.5.2 对照品溶液制备

精密称取天麻素对照品、对羟基苯甲醇对照品适量, 加乙腈-水 (3:97) 混合溶液制成每 1 mL 含天麻素和对羟基苯甲醇分别为 49.510、23.665  $\mu$ g 的混合对照品溶液。

#### 1.3.5.3 供试品溶液制备

精密称取乌天麻粉末 2 g, 加入稀乙醇 50 mL, 称重, 超声处理 (120 W, 40 kHz) 30 min, 冷却称重, 补足减失重量, 过滤, 精密量取续滤液 10 mL, 浓缩至近干无醇味, 残渣加乙腈-水 (3:97) 混合溶液溶解, 转移至 25 mL 容量瓶中, 用乙腈-水 (3:97) 混合溶液定容, 摇匀, 滤过, 待测定。天麻素或对羟基苯甲醇的含量计算公式如下:

$$G_x = \frac{C_x \times V_1 \times V_2}{V_3 \times M_x} \quad (7)$$

式中:

$G_x$ —天麻素或对羟基苯甲醇的含量, mg/g;

$C_x$ —供试品天麻素或对羟基苯甲醇浓度, mg/mL;

$M_x$ —去除含水量的供试品重量, g;

$V_1$ —定容体积, mL;

$V_2$ —提取试剂体积, mL;

$V_3$ —取续滤液体积, mL。

### 1.3.6 数据分析

采用 SPSS 22.0 软件对实验数据进行统计分析,  $P < 0.05$  表示显著差异, 应用 GraphPad Prism 8.0 对所得数据进行绘图。

## 2 结果与讨论

### 2.1 不同热风干燥温度对乌天麻干燥特性的变化影响

#### 2.1.1 干燥时间的变化比较

通过图 1a 看干燥时间, 不同干燥温度对干燥时间的影响存在明显差异, 70  $^{\circ}$ C 最短 6 d, 其次为 50  $^{\circ}$ C、70~40  $^{\circ}$ C 缓慢降温 7 d、40~70  $^{\circ}$ C 缓慢升温 8 d、70~40  $^{\circ}$ C 快速降温 9 d。

最长为 70~40  $^{\circ}$ C 快速降温 14 d。以上说明, 恒温、缓慢降温、缓慢升温干燥较快速降温干燥可大幅度缩短干燥时间, 节约干燥过程中的成本投入和时间消耗。以上结果与葛进等<sup>[19]</sup>研究结果一致, 一步恒温干燥所用时间少于缓慢变温干燥和快速变温干燥。通过考察干燥时间, 经恒温干燥或缓慢变温干燥处理的乌天麻更利于提高干燥速度, 缩短干燥时间。

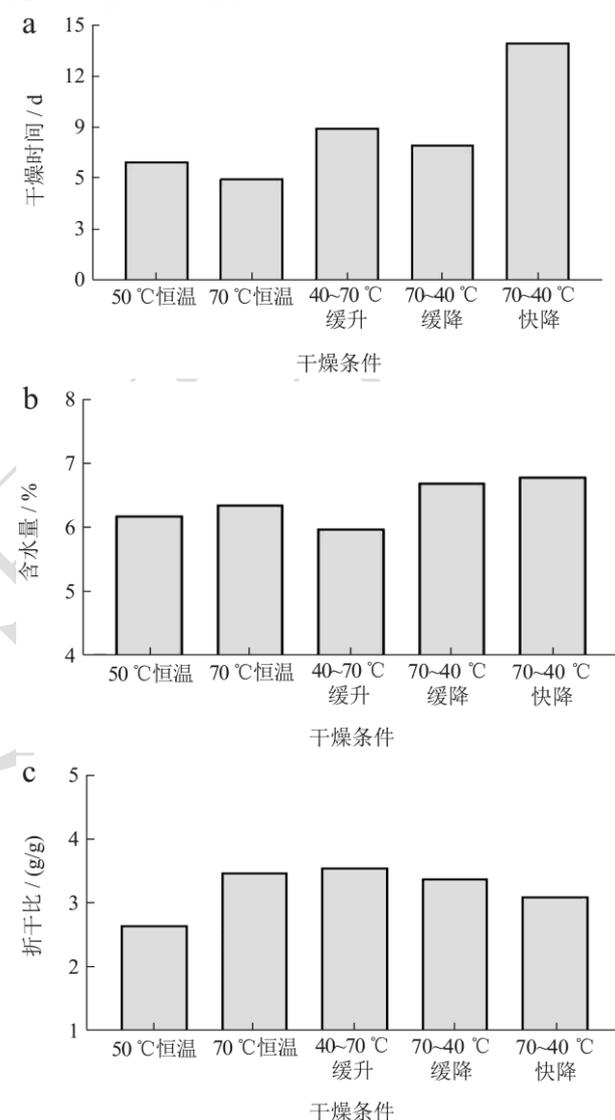


图 1 不同热风干燥温度对乌天麻干燥特性的变化

Fig.1 Effect of drying characteristics of *Gastrodia elata* Bl. F. glauca S. Chow in different hot-air drying temperatures

#### 2.1.2 含水量的变化比较

大量研究显示<sup>[20-23]</sup>, 水分含量在中药材干燥过程中有着密切的关联, 同时含水量的高低也影响着中药材在仓储过程中的质量稳定性。图 1b 所示, 不同热风干燥温度条件下乌天麻含水量为 5.98%~6.79%, 相互之间变化差异小, 基本趋于一致, 均符合安全含水量要求 (2020 版《中国药典》规定不得高于 15.00%)。以上结果说明, 不同干燥温度对乌天麻含水量不存在

影响,干燥温度和干燥时间足够,含水量均可以达到药典规定的安全含水量范围。

### 2.1.3 折干比的变化比较

通过折干比预估干品产量,相同鲜品产量下,折干比越小,所得干品越高,反之越低。对比图 1c 折干比结果,不同干燥温度条件下乌天麻折干比存在差异,50 °C 最低 2.66 g/g,其次 70~40 °C 快速降温 3.11 g/g,40~70 °C 缓慢升温最大 3.56 g/g,以上结果说明 50 °C 和 70~40 °C 快速降温干燥的折干比小于 70 °C、40~70 °C 缓慢升温和 70~40 °C 快速降温干燥的折干比,低温有利于乌天麻物质的转化保存。田志蛟等<sup>[8]</sup>研究显示经过蒸制处理的天麻折干率差异较小,内容物损失小,本研究结果与其研究结果一致;本研究还进一步得出,低温干燥折干比小,可有效降低内容物在干燥过程中随水分的减少流失,提高干品得率。

## 2.2 不同热风干燥温度对乌天麻中浸出物含量的变化影响

量的变化影响

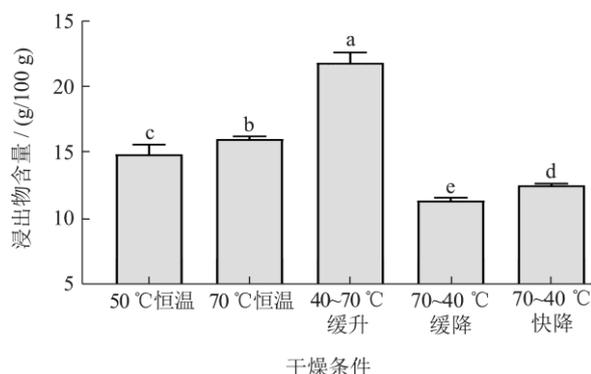


图 2 不同热风干燥温度对乌天麻浸出物含量的变化影响

Fig.2 Effect of extractum of *Gastrodia elata* Bl. F. *glauca* S.

Chow in different hot-air drying temperatures

注:小写字母表示具有差异显著 ( $P<0.05$ ),下同。

由图 2 可知,不同干燥温度对乌天麻浸出物含量的变化影响显著 ( $P<0.05$ ),40~70 °C 缓慢升温对浸出物含量影响最大,含量为 21.81 g/100 g;70 °C 比 50 °C 干燥显著增加,从 14.86 g/100 g 升至 16.03 g/100 g;70~40 °C 缓慢降温和快速降温均显著降低。分析结果,缓慢升温较恒温和降温干燥可显著提高浸出物含量,经过 40~70 °C 缓慢升温干燥的乌天麻浸出物含量为药典的 1.45 倍,其中 70 °C 和 40~70 °C 缓慢升温干燥浸出物含量符合法定标准 ( $\geq 15.00\%$ )。葛进等<sup>[9]</sup>的研究表明缓慢升温干燥对浸出物含量提升影响最大,本研究结果与葛等人的研究结果相一致,且该研究还得出恒温干燥下高温可显著提高浸出物含量。综上,40~70 °C 缓慢升温干燥适宜乌天麻浸出物含量的

提高。

## 2.3 不同热风干燥温度对乌天麻中多糖含量的变化影响

的变化影响

比较不同热风干燥温度下乌天麻多糖的变化,从图 3 可知,多糖含量为 16.79~38.40 g/100 g,不同干燥温度对多糖含量有不同程度的影响。70~40 °C 缓慢降温多糖含量最高并显著高于其它干燥 ( $P<0.05$ );70 °C 比 50 °C 干燥多糖含量显著降低,差值为 18.29 g/100 g;70 °C、40~70 °C 缓慢升温 and 70~40 °C 快速降温条件下多糖存在显著差异 ( $p<0.05$ ),且呈线性递增。以上结果说明,降温干燥较恒温干燥和升温干燥利于增加多糖含量,低温有利于多糖含量提升,高温降低多糖含量,缓慢降温干燥对乌天麻多糖含量的影响最显著。该结果前期研究<sup>[24-26]</sup>的结果一致,温度过高可能引起糊化,在一定干燥温度范围内多糖含量增加,超出范围显著降低,以多糖含量为评价指标时,乌天麻药材适宜采用 70~40 °C 缓慢降温干燥、快速降温干燥或 50 °C 低温干燥。

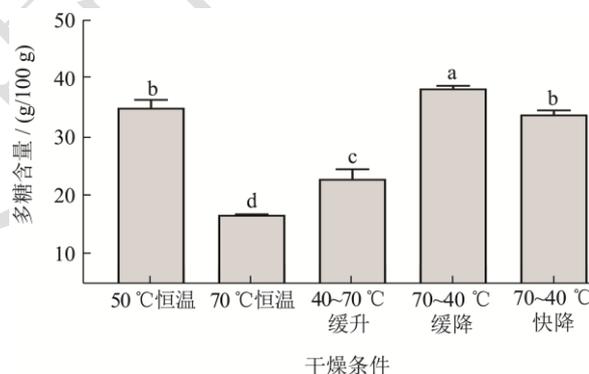


图 3 不同热风干燥温度对乌天麻中多糖含量的变化影响

Fig.3 Effect of polysaccharide of *Gastrodia elata* Bl. F. *glauca* S.

Chow in different hot-air drying temperatures

## 2.4 不同热风干燥温度对乌天麻中天麻素和

对羟基苯甲醇含量的变化影响

### 2.4.1 天麻素含量的变化比较

由图 4a 可知,不同干燥温度对乌天麻中天麻素含量存在差异,70 °C 与 40~70 °C 缓慢升温干燥无差异 ( $P>0.05$ ),与其它处理存在显著差异 ( $P<0.05$ )。70 °C 干燥显著高于 50 °C 干燥 3.13 mg/g;70~40 °C 降温干燥显著低于 40~70 °C 缓慢升温干燥,缓慢降温干燥显著低于快速降温干燥 1.61 mg/g;50 °C 干燥和 70~40 °C 快速降温干燥无显著差异。进一步分析以上结果,随干燥温度升高天麻素含量增加,缓慢升温干

燥比降温干燥利于天麻素的生成,70 °C 高温干燥时间越长天麻素含量越多。多位研究者的成果说明,干燥温度对天麻素的含量具有显著的影响,经过高温处理的乌天麻,天麻素可显著提高,影响着乌天麻的品质<sup>[19,27,28]</sup>。不同的热风干燥温度对天麻素含量的影响具有显著性,70 °C 和 40~70 °C 缓慢升温天麻素含量较其它干燥具有显著优势。

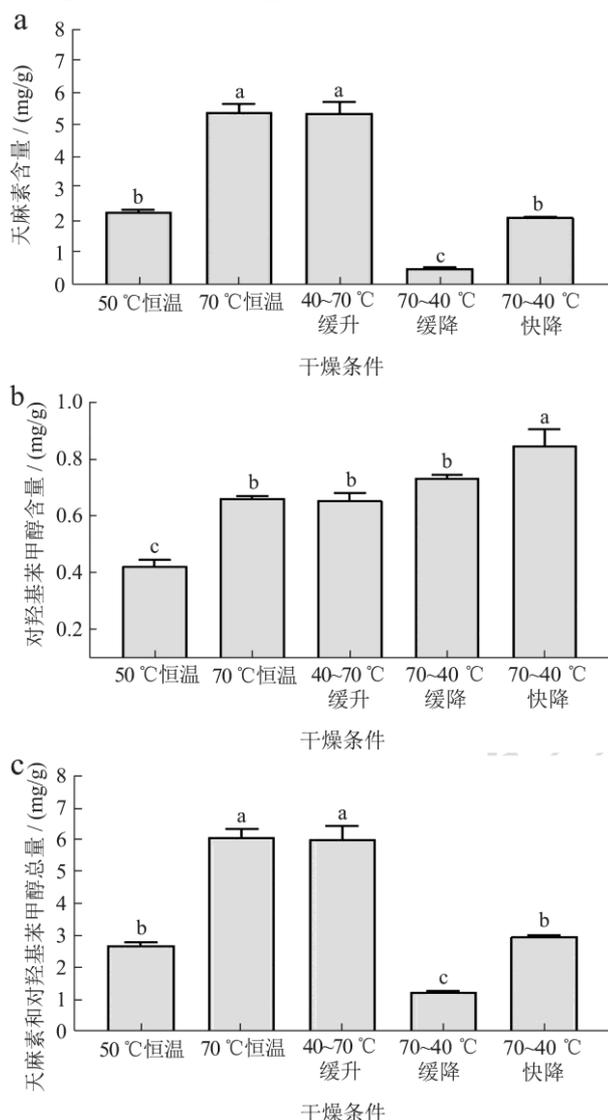


图4 不同热风干燥温度对乌天麻中天麻素和对羟基苯甲醇含量的变化影响

Fig.4 Effect of gastrodin and p-hydroxybenzyl alcohol of *Gastrodia elata* Bl. *F. glauca* S. Chow in different hot-air drying temperatures

#### 2.4.2 对羟基苯甲醇含量的变化比较

由图4b对羟基苯甲醇含量变化结果可知,不同干燥温度条件下乌天麻中对羟基苯甲醇含量存在显著差异。70~40 °C 快速降温干燥显著高于其它干燥处理 ( $P<0.05$ ), 含量为 0.85 mg/g; 50 °C 干燥显著低于其它干燥处理, 含量为 0.42 mg/g; 70~40 °C 缓慢降温、

70 °C、40~70 °C 缓慢升温之间差异不显著 ( $P>0.05$ ), 与其它干燥处理存在显著差异, 且分别高于 50 °C 干燥 0.31、0.24、0.23 mg/g。以上结果说明, 高温干燥可增加对羟基苯甲醇的含量, 该结果与方伟等<sup>[24]</sup>的研究结果相反, 但高温干燥时间增长对羟基苯甲醇含量又显著降低。综上可知, 经过短暂 70 °C 高温干燥可增加对羟基苯甲醇的含量, 保持对羟基苯甲醇的高含量还需长时间 40 °C 低温处理, 70~40 °C 快速降温干燥下对羟基苯甲醇的含量具有显著优势。

#### 2.4.3 天麻素和对羟基苯甲醇总量的变化比较

比较不同干燥温度对乌天麻中天麻素和对羟基苯甲醇总量的影响, 不同条件下二者之和含量为 1.26~6.09 mg/g, 2020 年版《中国药典》对天麻药材含量测定的限度规定天麻素和对羟基苯甲醇的总量不得低于 0.25%, 图 4c 结果显示, 70~40 °C 缓慢降温干燥不符合规定。不同干燥温度下乌天麻的总量变化存在显著差异, 总量变化显著性与天麻素含量变化显著性相一致。恒温干燥和升温干燥较降温干燥利于总量的提高, 且 70 °C 干燥和 40~70 °C 缓慢升温干燥的总量具有显著优势。天麻素含量对总量的影响较大, 分析其原因除干燥温度影响外, 在蒸制和发汗过程中天麻素得以完好保存和转化, 对羟基苯甲醇却易转化流失<sup>[7]</sup>。因此, 在平衡天麻素和对羟基苯甲醇总量时应综合考虑, 使二者之和达到优值。从此研究结果来看, 70 °C 和 40~70 °C 缓慢升温干燥适宜提高天麻素和对羟基苯甲醇总量的含量。

### 3 结论

通过对不同热风干燥温度下乌天麻的干燥时间、含水量、折干比、浸出物、多糖、天麻素、对羟基苯甲醇和总量的比较评价, 不同热风干燥温度对乌天麻干燥特性和品质的变化有显著影响。干燥温度越高, 则干燥时间越短, 70 °C 和 40~70 °C 缓慢升温可大幅度改善乌天麻加工过程耗时的问题; 不同干燥温度均可使乌天麻达到安全含水量范围内; 折干比变化差异小, 但低温干燥较高温利于干品的获得, 50 °C 和 70~40 °C 快速降温干燥利于提高干品得率。

浸出物含量随温度升高显著提高 ( $P<0.05$ ), 40~70 °C 缓慢升温和 70 °C 干燥适宜乌天麻浸出物含量的增加; 多糖含量却与浸出物变化相反, 温度过高过长显著降低了多糖含量 ( $P<0.05$ ), 70~40 °C 缓慢降温、50 °C 恒温和 70~40 °C 快速降温干燥适宜多糖含量的提高; 干燥温度对天麻素和对羟基苯甲醇的含量有显著变化影响 ( $P<0.05$ ), 恒温 and 升温干燥对二者均可提高, 降温干燥天麻素显著降低而对羟基苯甲

醇呈上升趋势, 70 °C和 40~70 °C缓慢升温干燥条件对提高天麻素和对羟基苯甲醇含量最佳。

恒温、升温和降温干燥对乌天麻干燥特性和品质影响变化差异明显, 且不同指标的变化多成相反趋势。乌天麻作为药食同源的中药材, 在实际生产应用中除了要考虑成本、产量外, 更应该考虑品质问题。综合评价, 40~70 °C缓慢升温在保证干燥时间短(9 d)、含水量低(5.98%)的同时也保证了乌天麻有效物质的含量(浸出物 21.81 g/100 g、多糖 22.92 g/100 g、天麻素和对羟基苯甲醇总量 6.04 mg/g), 有利于形成优质、稳定的乌天麻。

### 参考文献

- [1] 王丽, 马聪吉, 吕德芳, 等. 云南昭通天麻仿野生栽培技术的规范化管理[J]. 中国现代中药, 2017, 19(3): 408-414.
- [2] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典: 一部[M]. 北京: 中国医药科技出版社, 2020: 59-60.
- [3] 马凤伟, 李莹, 潘成, 等. 不同采收期乌天麻中多糖的提取及含量测定[J]. 食品研究与开发, 2018, 39(22): 47-51, 90.
- [4] LI Meng, QIAN Sumin. Gastrodin protects neural progenitor cells against amyloid beta (1-42)-induced neurotoxicity and improves hippocampal neurogenesis in amyloid beta (1-42)-injected mice [J]. Journal of Molecular Neuroscience, 2016, 60(1): 21-32.
- [5] Park Young-Mi, Lee Bong-Gun, Park Sang-Hoon, et al. Prolonged oral administration of *Gastrodia elata* extract improves spatial learning and memory of scopolamine-treated rats [J]. Laboratory Animal Research, 2015, 31(2): 69-77.
- [6] 乔怀耀. 乌天麻品质特性及标准的初步研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2008.
- [7] 周碧乾. 天麻产地加工与品质特征的研究[D]. 成都: 成都中医药大学, 2018.
- [8] 田治蛟, 王家金, 刘金美, 等. 不同干燥方法和蒸制时间对昭通天麻药材质量的影响[J]. 西南农业学报, 2016, 29(7): 1701-1706.
- [9] DB53/T 684.10-2015, 昭通乌天麻 第 10 部分: 初加工技术规程[S].
- [10] 宁子琬, 毛春芹, 陆兔林, 等. 不同加工方法对天麻有效成分及 SO<sub>2</sub> 残留量的影响[J]. 中国中药杂志, 2014, 39(15): 2814-2818.
- [11] 李刚凤, 黎光富, 康明, 等. 不同加工方法对德江天麻多糖含量的影响[J]. 食品工业, 2017, 38(9): 21-24.
- [12] 沈肖晶. 天麻产地加工炮制工艺及质量评价研究[D]. 合肥: 安徽中医药大学, 2015.
- [13] 秦梦圆. 陕西汉中天麻质量评价与加工工艺研究[D]. 北京: 北京中医药大学, 2021.
- [14] 季德, 宁子琬, 张雪荣, 等. 不同干燥加工方法对天麻药材质量的影响[J]. 中国中药杂志, 2016, 41(14): 2587-2590.
- [15] 刘彦铎, 王昌利, 唐斌, 等. 不同干燥方法对天麻中天麻素含量的影响[J]. 现代中医药, 2013, 33(3): 108-109.
- [16] 黄妍, 林俊锦. 三种干燥方式下苹果脆片干燥特性及品质的比较[J]. 现代食品科技, 2021, 37(3): 227-232.
- [17] 段金彪, 宿树兰, 严辉, 等. 药材初加工“发汗”过程及其酶促反应与化学转化机制探讨[J]. 中草药, 2013, 44(10): 1219-1225.
- [18] 程立君, 彭佳华, 胡志芳, 等. 昭通天麻多糖含量测定及超声辅助提取条件优化[J]. 安徽农学通报, 2019, 25(Z1): 28-29, 40.
- [19] 葛进. 昭通乌天麻产地加工工艺研究[D]. 昆明: 昆明理工大学, 2017.
- [20] 郭慧玲, 徐梦甜, 伍振峰, 等. 白术热风干燥动力学及其挥发性成分变化规律的研究[J]. 中国中药杂志, 2022, 47(4): 922-930.
- [21] 绰尔鹏, 赵玉红. 热风干燥温度对老山芹品质的影响[J]. 现代食品科技, 2019, 35(7): 127-136.
- [22] Xiaofeng Ning, Junsoo Lee, Chungsu Han, et al. Drying characteristics and quality of red ginseng using far-infrared rays [J]. Journal of Ginseng Research, 2015, 39(4): 371-375.
- [23] Yong Hong Lee, Siew Kian Chin, Boon Kuan Chung, et al. Drying characteristics and product quality of lemon slices dried with hot air circulation oven and hybrid heatpump dryers [J]. International Journal of Science and Engineering, 2014, 8(1): 69-74.
- [24] 方伟, 胡慧, 刘慧芹, 等. 不同干燥温度对天麻主要成分含量的影响[J]. 怀化学院学报, 2019, 38(11): 1-5.
- [25] 马厚雨, 邢丽, 缪冶炼. 干燥温度对铁皮石斛颗粒中多糖溶出特性的影响[J]. 现代食品科技, 2019, 35(4): 109-115.
- [26] 吴永剑, 张超, 周丽娟, 等. 不同干燥温度对潞党参药材中游离糖及多糖的影响[J]. 时珍国医国药, 2022, 33(1): 121-124.
- [27] 李德勋, 肖顺经. 天麻的传统加工工艺调查和质量考察[J]. 现代中药研究与实践, 2004, 18(4): 12-13.
- [28] 袁晓, 袁萍, 尤敏, 等. RP-HPLC 法测定不同方法加工天麻中天麻素含量[J]. 曲阜师范大学学报, 2004, 30(3): 79-81.