

文章编号:1001-6880(2016)11-1764-07

# 不同干燥方法对白芍中 6 种化学成分的影响与评价

吴忠旺,吴一超,王丽,张利\*

四川农业大学理学院,雅安 625014

**摘要:**研究不同干燥方法对白芍中单萜苷类和酚酸类化学成分的影响,为白芍适宜干燥方法的确定提供依据;采用 HPLC 同时测定经不同干燥方法制备的样品中 4 种单萜苷类、2 种酚酸类化学成分的含量;利用 SPSS 软件进行主成分分析,利用主成分得分进行综合评价。结果表明:不同干燥方法所得白芍均能达到 2015 年版《中国药典》对白芍含量和水分的要求,采用真空冷冻干燥单萜苷类和酚酸类总量最高,为 6.248%,热风 60 °C 干燥次之,为 6.141%;经主成分分析,不同干燥方法处理的白芍中单萜苷类和酚酸类成分含量综合评分依次为:真空冷冻干燥 > 热风 60 °C 干燥 > 微波干燥 > 远红外干燥 > 晒干 > 热风 40 °C 干燥 > 热风 80 °C 干燥 > 阴干 > 热风 100 °C 干燥。不同干燥方法对白芍中单萜苷类和酚酸类成分有一定的影响。因此,从各成分含量、成本和实用性方面综合分析,热风 60 °C 干燥为白芍适宜的干燥方法。

**关键词:**白芍;干燥方法;高效液相色谱法;主成分综合评价

中图分类号:R282.4

文献标识码:A

DOI:10.16333/j.1001-6880.2016.11.014

## Effect of Different Drying Methods on Six Chemical Components of Paeoniae Radix Alba

WU Zhong-wang, WU Yi-chao, WANG Li, ZHANG Li\*

College of Science, Sichuan Agricultural University, Ya'an 625014, China

**Abstract:** The aim of this study was to investigate the effects of different drying methods on the contents of monoterpene glycosides and phenolic acids in *Paeoniae Radix Alba*, and to provide a scientific basis for the selection of appropriate drying method for *Paeoniae Radix Alba*. HPLC was used to simultaneously determine the contents of 4 monoterpene glycosides and 2 phenolic acids with different drying methods. Principal component analysis (PCA) was carried out by SPSS software to evaluate the quality of different processed products from *Paeoniae Radix Alba*. The results showed that the contents of chemical components and water content were in accordance with the requirements of Chinese Pharmacopoeia (Version 2015). The highest total contents of monoterpene glycosides and phenolic acids in *Paeoniae Radix Alba* processed by vacuum freeze drying were 6.248% and followed by processed by drying with hot air at 60 °C (6.141%). According to the PCA results, the comprehensive scores of monoterpene glycoside and phenolic acid compounds in *Paeoniae Radix Alba* processed with different drying methods in the order from high to low were vacuum freeze dried > dried with hot air at 60 °C > microwave dried > far infrared dried > sun dried > dried with hot air at 40 °C > dried with hot air at 80 °C > shade dried > dried with hot air at 100 °C. In conclusion, different drying methods had certain effects on the content monoterpene glycoside and phenolic acid compounds in *Paeoniae Radix Alba*. Drying with hot air at 60 °C was the appropriate drying method of *Paeoniae Radix Alba* by comprehensive analysis of the content, cost and practicality.

**Key words:** *Paeoniae Radix Alba*; drying method; HPLC; PCA evaluation

白芍为毛茛科植物芍药 (*Paeonia lactiflora* Pall.) 的干燥根,具有养血调经,敛阴止汗,柔肝止痛,平抑肝阳的功效<sup>[1]</sup>。现代药理研究表明,白芍

中所含单萜苷类化合物芍药苷、芍药内酯苷等具有抗炎镇痛、调节免疫、治疗类风湿性关节炎等药理作用<sup>[2-5]</sup>。白芍中所含酚酸类成分,如儿茶素具有抗氧化活性及预防心血管疾病等作用<sup>[6]</sup>,没食子酸具有抗衰老、抗炎和抗癌等活性<sup>[7]</sup>。

药材加工系指药用部位收获至形成商品药材而进行的药材初步处理和干燥等产地初加工过程<sup>[8]</sup>,

收稿日期:2016-07-12 接受日期:2016-09-02

基金项目:四川省科技支撑计划项目(2016FZ0058,2016SZ0032)

\* 通讯作者 E-mail:zhang8434@sina.com

产地加工是药材生产与品质形成的重要环节,其中干燥过程尤为关键。传统干燥方法存在干燥时间长、易受天气条件影响、干燥后药材质量不均一等弊端。随着中药材生产过程工业化程度的深化,热风干燥、微波干燥、冷冻干燥等现代干燥技术应用在中药材产地加工中,并表现出干燥时间短、干燥条件可控、产品质量稳定等优点<sup>[9]</sup>,如银杏叶可采用热风80℃干燥<sup>[10]</sup>,五味子可采用50℃热风干燥<sup>[11]</sup>,百合可采用冷冻干燥<sup>[12]</sup>等。在白芍干燥加工过程中现代干燥方法的研究笔者尚未见国内(外)文献报道,本研究拟通过比较传统以及现代多种干燥方法对白芍中单萜苷类和酚酸类成分的影响,探讨白芍加工中的干燥方法,寻求一种比较有利于减少活性成分损失的干燥方法,以期为今后白芍产品的生产和活性物质的高效利用及后续研究提供依据和参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 仪器与材料

LC-20A 高效液相色谱仪(日本岛津公司),配备 DGU-20A3 在线脱气机、SPD-20A 紫外检测器、LC-20AB 高压输液泵、CTO-10AS 柱温箱和 SIL-20A 自动进样器;SB-600DTD 超声波清洗机(宁波新芝生物科技股份有限公司);BT124S 电子天平(德国 Sartorius 公司);LGJ-12 冷冻干燥机(北京松源华兴科技发展有限公司);DHG-9240A 电热恒温鼓风干燥箱(上海鸿都电子科技有限公司);700W 远红外碳纤维加热器(浙江奥世朗电器有限公司);FW80 中药粉碎机(天津市泰斯特仪器有限公司);P80D23N1P-G5 型微波炉(广东格兰仕电器有限公司)。

芍药苷(批号 S-010-150421)、芍药内酯苷(批号 S-011-150713)、羟基芍药苷(批号 Q-019-151013)、苯甲酰芍药苷(批号 B-024-150403)对照品均购自成都瑞芬思生物科技有限公司,纯度均大于98%;没食子酸(批号 MUST-15042910)、儿茶素(批号 MUST-15062204)对照品均购自成都曼斯特生物科技有限公司,纯度均大于98%;甲醇(色谱纯,美国 Fisher 公司);乙腈(色谱纯,美国 J. T. Baker 公司);磷酸(优级纯,成都市科龙化工试剂厂);无水乙醇(分析纯,成都市科龙化工试剂厂);超纯水(实验室自制)。

芍药鲜根采自四川中江白芍种植基地,均来源

于同一块地内长势较一致的四年生植株,经四川农业大学生命科学学院杨瑞武教授鉴定为毛茛科植物芍药(*Paeonia lactiflora* Pall.)的干燥根。

### 1.2 干燥方法

芍药鲜根洗净,除去头尾及细根,置于沸水中煮5 min,除去外皮,充分混匀后均分成9份,装入不锈钢托盘中摊开,分别进行晒干、阴干、热风干燥、微波干燥、远红外干燥和真空冷冻干燥;除真空冷冻干燥外,其他干燥方法每隔一段时间翻动1次,并记录干燥所用时间。干燥至含水量符合2015年版《中国药典》标准(不超过14%)。按照2015年版《中国药典》四部通则0832第二法(烘干法)进行水分测定。重复3次,取平均值。将样品粉碎,过60目筛,装入样品袋备用。

#### 1.2.1 晒干

将白芍样品置于室外日光下晾晒,夜间收回。

#### 1.2.2 阴干

将白芍样品置于室内阴凉通风处自然阴干。

#### 1.2.3 热风干燥

将白芍样品置于电热恒温鼓风干燥箱中,选择40、60、80、100℃4个温度分别干燥,以考察干燥时不同温度对白芍成分的影响。

#### 1.2.4 微波干燥

将白芍样品置于微波炉内,用解冻火力干燥1 min,取出,再置微波炉中,重复8次。

#### 1.2.5 远红外干燥

将白芍样品用远红外碳纤维加热器干燥。

#### 1.2.6 真空冷冻干燥

将经预冻处理的白芍样品置于真空冷冻干燥机中,进行真空冷冻干燥。

### 1.3 对照品储备液的制备

分别精密称取对照品芍药苷、芍药内酯苷、羟基芍药苷、苯甲酰芍药苷、儿茶素、没食子酸适量,以甲醇配成各单一成分的溶液,即得芍药苷3.90 mg/mL,芍药内酯苷0.44 mg/mL,羟基芍药苷0.44 mg/mL,苯甲酰芍药苷0.44 mg/mL,儿茶素0.46 mg/mL,没食子酸0.51 mg/mL 的对照品储备液。所有对照品溶液均在4℃条件下贮藏。

### 1.4 混合对照品溶液的制备

精密吸取芍药苷对照品储备液1 mL,芍药内酯苷对照品储备液4 mL,苯甲酰芍药苷对照品储备液1 mL,羟基芍药苷、儿茶素、没食子酸对照品储备液各0.5 mL,置同一10 mL量瓶中,加甲醇稀释至刻

度,摇匀,即得芍药苷 390.0 μg/mL,芍药内酯苷 176.0 μg/mL,羟基芍药苷 22.0 μg/mL,苯甲酰芍药苷 44.0 μg/mL,儿茶素 23 μg/mL,没食子酸 25.5 μg/mL 的混合对照品溶液。

## 1.5 供试品溶液的制备

参考金林等<sup>[13]</sup>的方法稍作改进。精密称取白芍粉末 0.2 g,置于 10 mL 量瓶中,加 70% 乙醇 7 mL,超声提取 2 次,每次 20 min(超声频率:40 KHz,超声功率:240 W),取出静置,冷却至室温,合并 2 次提取液,至 20 mL 量瓶,加 70% 乙醇定容至刻度,摇匀,经 0.22 μm 微孔滤膜过滤,取续滤液,即得。精密吸取该溶液 10 μL,注入色谱仪,根据峰面积按如下公式计算出各成分的含量:

$$\text{含量}(\%) = \frac{C \times V \times 10^{-6}}{M \times (1 - W)} \times 100\%$$

式中,C 表示依据标准曲线计算出的浓度(μg/mL),V 表示提取液体积(mL),M 为称取的样品重量(g),W 为含水量(%)。

## 1.6 色谱条件

色谱柱:Agilent Eclipse XDB-C<sub>18</sub> 色谱柱(4.6 × 250 mm,5 μm);流动相:流动相 A 为 0.1% 磷酸水溶液,B 为乙腈;梯度洗脱:0 ~ 5 min,10% ~ 15% B;

表 1 不同干燥方法所需时间及样品水分检测(*n*=3)

Table 1 The time spent in different drying methods and the moisture content of each sample (*n*=3)

干燥方法 Drying methods	时间 Time (min)	含水量 Moisture content (%)
晒干 Sun drying	4320	8.86
阴干 Shade drying	8640	10.62
热风 40 ℃ 干燥 Drying with hot air at 40 ℃	1440	6.07
热风 60 ℃ 干燥 Drying with hot air at 60 ℃	480	5.38
热风 80 ℃ 干燥 Drying with hot air at 80 ℃	150	4.89
热风 100 ℃ 干燥 Drying with hot air at 100 ℃	70	5.97
微波干燥 Microwave drying	8	4.33
远红外干燥 Far infrared drying	120	5.27
真空冷冻干燥 Vacuum freeze drying	1440	6.12

## 2.3 方法学考察

### 2.3.1 线性关系考察

分别精密吸取混合对照品溶液 4、8、12、16、20 μL,按 1.6 项下色谱条件分别进样进行测定。以浓度(X, μg/mL)为横坐标,峰面积(Y)为纵坐标,绘制标准曲线,计算回归方程,结果见表 2。结果表明,没食子酸、羟基芍药苷等成分质量浓度分别与对

5 ~ 20 min,15% ~ 20% B;20 ~ 40 min,20% ~ 60% B;柱温:40 ℃;进样体积:10 μL;流速:1 mL/min;检测波长:230 nm(芍药内酯苷、芍药苷和苯甲酰芍药苷)和 270 nm(没食子酸、羟基芍药苷和儿茶素)。

## 1.7 数据统计分析

采用 Microsoft excel 2013 软件对数据处理,并绘制相应的表格;采用 SPSS 23.0 软件对样品测定结果进行主成分分析(PCA)。

## 2 实验结果

### 2.1 不同干燥方法所需时间及水分

晒干、阴干、热风干燥、微波干燥、远红外干燥和真空冷冻干燥所需时间及样品水分见表 1。结果表明,不同干燥方法所得样品含水量均符合《中国药典》标准;微波干燥法所得样品含水量最低,耗时最短;阴干法所得样品含水量最高,耗时最长。

### 2.2 不同干燥方法所得白芍外观性状

各干燥方法所得白芍外观性状与《中国药典》描述基本一致。晒干、热风干燥和远红外干燥所得的白芍表面类白色;阴干所得的白芍表面类白色,有少量霉变;微波干燥所得的白芍表面类白色,有少量焦斑;真空冷冻干燥所得的白芍表面淡棕红色。

表 1 不同干燥方法所需时间及样品水分检测(*n*=3)

Table 1 The time spent in different drying methods and the moisture content of each sample (*n*=3)

应峰面积呈良好的线性关系。

### 2.3.2 精密度实验

精密吸取混合对照品溶液 10 μL,按 1.6 项下色谱条件连续进样 6 次,测定峰面积,结果没食子酸、羟基芍药苷、儿茶素、芍药内酯苷、芍药苷和苯甲酰芍药苷的 RSD 分别为 0.9%、1.5%、0.4%、0.5%、1.7%、0.3%,表明仪器精密度良好。

表2 线性回归方程及检测限和定量限

Table 2 Linear regression equation and results of LOD and LOQ

成分 Analyte	线性方程 Regression equation	$R^2$	线性范围 Linear range ( $\mu\text{g/mL}$ )	检测限 LOD ( $\mu\text{g/mL}$ )	定量限 LOQ ( $\mu\text{g/mL}$ )
没食子酸 Gallic acid	$Y = 2.4731 \times 10^4 X + 6779$	0.9997	10.2 ~ 51.0	0.82	2.74
羟基芍药苷 Oxypanaeoniflorin	$Y = 2.9737 \times 10^3 X - 64.9$	0.9989	8.8 ~ 44.0	0.07	0.22
儿茶素 Catechin	$Y = 6.0335 \times 10^4 X - 15378$	0.9999	9.2 ~ 46.0	0.76	2.54
芍药内酯苷 Alibiflorin	$Y = 1.1310 \times 10^4 X - 21840$	0.9999	70.4 ~ 352.0	5.79	19.31
芍药苷 Paeoniflorin	$Y = 1.3640 \times 10^4 X - 103407$	0.9997	148.0 ~ 780.0	22.73	75.81
苯甲酰芍药苷 Benzoylpaeoniflorin	$Y = 2.3232 \times 10^4 X - 19569$	0.9997	17.6 ~ 88.0	2.52	8.42

### 2.3.3 稳定性实验

精密吸取同一供试品溶液 10  $\mu\text{L}$ , 按 1.6 项下色谱条件分别在 0、2、4、6、8、12、24 h 进样, 测定峰面积, 结果没食子酸、羟基芍药苷、儿茶素、芍药内酯苷、芍药苷和苯甲酰芍药苷的 RSD 分别为 1.2%、1.8%、1.9%、0.8%、0.8%、1.2%, 表明供试品溶液在 24 h 内稳定。

### 2.3.4 重复性实验

精密称取同一样品 6 份, 每份 0.2 g, 按 1.5 项下制备供试品溶液, 按 1.6 项下色谱条件进样测定, 结果没食子酸、羟基芍药苷、儿茶素、芍药内酯苷、芍药苷和苯甲酰芍药苷含量的 RSD 分别为 1.3%、1.5%、1.7%、1.0%、1.6%、1.9%, 说明本方法重复性良好。

### 2.3.5 加样回收率实验

精密称取已知含量的样品 6 份, 每份 0.1 g, 分

别精密加入一定量各对照品储备液, 按 1.5 项下制备供试品溶液, 按 1.6 项下色谱条件进样测定, 结果没食子酸、羟基芍药苷、儿茶素、芍药内酯苷、芍药苷和苯甲酰芍药苷的平均回收率 ( $n = 6$ ) 分别为 99.9%、97.0%、98.5%、99.4%、98.5%、98.8%, RSD 分别为 1.4%、1.3%、1.7%、1.9%、1.1%、1.8%, 表明本方法的加样回收率符合规定。

### 2.4 样品含量测定

取不同干燥方法所得白芍样品 0.2 g, 精密称定, 按 1.5 项下制备供试品溶液, 按 1.6 项下色谱条件分别进样 10  $\mu\text{L}$  进行测定, 按干燥品计算, 每个样品平行 3 次, 取均值, HPLC 图谱见图 1, 结果见表 3。结果表明, 芍药苷含量以真空冷冻干燥最高, 为 4.060%, 热风 60  $^\circ\text{C}$  干燥次之, 为 4.030%, 热风 100  $^\circ\text{C}$  干燥最低, 为 3.080%; 单萜苷类总量以真空冷冻干燥最高, 为 6.001%, 热风 60  $^\circ\text{C}$  干燥次之, 为

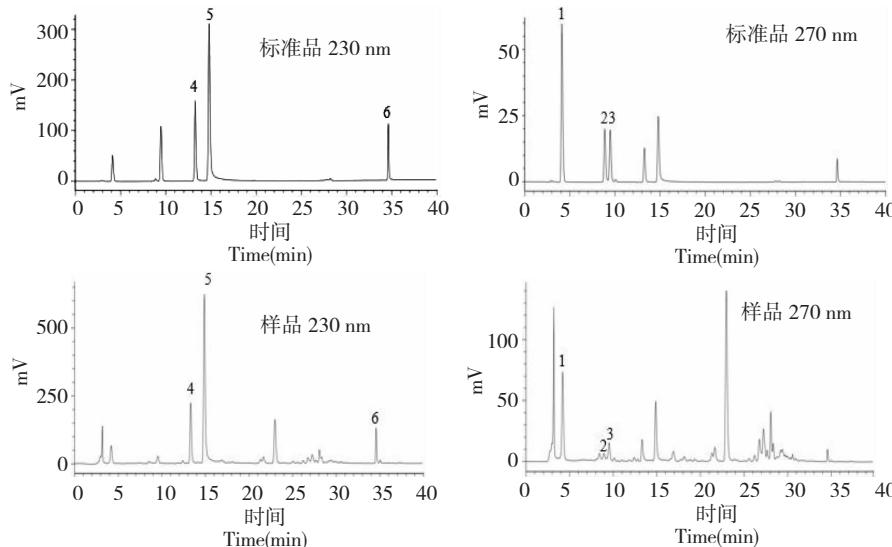


图1 对照品及样品 HPLC 图谱

Fig. 1 HPLC chromatograms of reference substances and samples

表3 不同干燥方法白芍中6种化学成分含量(%,n=3)

Table 3 Contents of six chemical components in Paeoniae Radix Alba by different drying methods (% ,n = 3)

干燥方法 Drying methods	1	2	3	4	5	6	单萜苷类 Monoterpene glycosides	酚酸类 Phenolic acids	Total
晒干 Sun drying	0.190	0.101	0.040	1.102	3.990	0.243	5.436	0.230	5.666
阴干 Shade drying	0.160	0.076	0.035	0.947	3.680	0.242	4.946	0.195	5.141
热风40℃干燥 Drying with hot air at 40℃	0.190	0.096	0.049	1.261	3.440	0.242	5.041	0.239	5.280
热风60℃干燥 Drying with hot air at 60℃	0.170	0.111	0.055	1.533	4.030	0.241	5.916	0.225	6.141
热风80℃干燥 Drying with hot air at 80℃	0.180	0.090	0.039	1.062	3.230	0.252	4.636	0.219	4.855
热风100℃干燥 Drying with hot air at 100℃	0.170	0.071	0.028	1.031	3.080	0.224	4.407	0.198	4.605
微波干燥 Microwave drying	0.230	0.088	0.036	1.113	3.760	0.262	5.226	0.266	5.492
远红外干燥 Far infrared drying	0.190	0.097	0.043	1.351	3.920	0.243	5.612	0.233	5.845
真空冷冻干燥 Vacuum freeze drying	0.190	0.103	0.057	1.592	4.060	0.244	6.001	0.247	6.248

注:1.没食子酸;2.羟基芍药苷;3.儿茶素;4.芍药内酯苷;5.芍药苷;6.苯甲酰芍药苷。

Note:1. Gallic acid;2. Oxypaeoniflorin;3. Catechin;4. Alibiflorin;5. Paeoniflorin;6. Benzoylpaeoniflorin.

5.916%,热风100℃干燥最低,为4.407%;酚酸类总量以微波干燥最高,为0.266%,真空冷冻干燥次之,为0.247%,阴干最低,为0.195%。

## 2.5 不同干燥方法的综合评价

由于白芍中各类成分在不同干燥方法中变化不尽相同,故利用综合评价法以确定适宜的干燥方法<sup>[14]</sup>。以单萜苷类和酚酸类成分含量与对应的组别组成矩阵,对其进行了主成分分析,结果前2个主成分的特征值均大于1,说明前2个因子在影响白芍质量评价的指标中起着主导作用,2个主成分的积累贡献率达84.53%,能够客观地反映白芍药材

的内在质量,故选用前2个主成分对不同干燥方法的白芍进行综合评价。以各主成分因子得分与方差贡献率乘积之和相加,得出各类成分总因子得分值F,其综合评价函数为  $F = 0.56852F1 + 0.27678F2$ 。

按综合评价函数计算出不同样品的综合得分(F),并按其得分进行降序排序,见表4。由表4可知,不同干燥方法所得的白芍中单萜苷类和酚酸类成分含量综合评价依次为:真空冷冻干燥>热风60℃干燥>微波干燥>远红外干燥>晒干>热风40℃干燥>热风80℃干燥>阴干>热风100℃干燥。

表4 不同干燥方法的主成分因子及其综合评价

Table 4 The PCA factors and evaluated results of different drying methods

干燥方法 Drying methods	F1	F2	F	综合排序 Comprehensive sequencing
真空冷冻干燥 Vacuum freeze drying	2.45	0.56	1.24	1
热风60℃干燥 Drying with hot air at 60℃	2.29	-1.36	0.92	2
微波干燥 Microwave drying	0.06	2.99	0.86	3
远红外干燥 Far infrared drying	0.79	-0.04	0.44	4
晒干 Sun drying	0.35	0.27	0.28	5
热风40℃干燥 Drying with hot air at 40℃	0.26	-0.19	0.09	6
热风80℃干燥 Drying with hot air at 80℃	-1.06	0.58	-0.44	7
阴干 Shade drying	-1.87	-0.43	-1.18	8
热风100℃干燥 Drying with hot air at 100℃	-3.26	-1.26	-2.20	9

## 3 讨论

### 3.1 定量测定方法的建立

参考余捷婧等<sup>[15]</sup>的方法,对流动相、检测波长、

柱温和流速等条件进行考察,建立了同时测定没食子酸、羟基芍药苷等6种成分的方法,并对该方法进行方法学考察,该方法准确可靠、重复性好,可用于白芍的质量控制。

### 3.2 不同干燥方法对单萜苷类和酚酸类成分含量的影响

芍药经水煮高温处理后,酶活力丧失<sup>[16]</sup>,酶活力对成分含量变化影响不大。单萜苷类成分是白芍中含有的一大类具有多种生物活性的成分,其中以芍药苷的量最高。本研究结果显示真空冷冻干燥所得芍药苷、单萜苷类含量最高,可能与真空冷冻干燥耗时较短,利用低温条件下水的升华,使物料低温脱水而达到干燥有关。有文献报道<sup>[17]</sup>,真空冷冻干燥可避免成分因高热而分解变质,能较好地保存物质成分。热风60℃干燥所得芍药苷、单萜苷类含量仅次于真空冷冻干燥,高于热风40℃干燥,推测其原因可能是热风60℃干燥耗时比热风40℃干燥短,较短的干燥时间使单萜苷类成分损失较少。热风100℃干燥所得芍药苷、单萜苷类含量最低,可能与其干燥过程中较长时间高温加热对单萜苷的破坏有关。与文献报道<sup>[18]</sup>高温可使单萜苷类成分发生降解,使单萜苷类成分含量下降一致。此外,不同干燥方法所得样品芍药苷含量均高于《中国药典》对白芍药材的限度(不得低于1.6%)规定。

本研究结果显示微波干燥所得酚酸类总量最高,可能与微波干燥穿透力强、脱水快、干燥耗时短从而使酚酸类成分损失较少有关。阴干所得酚酸类总量最低,可能与阴干耗时长且与氧气充分接触从而使酚酸类成分损失较多有关。热风干燥品随温度升高酚酸总量降低,因此,推测酚酸类化学成分热稳定性差。有文献报道<sup>[19]</sup>,温度升高到70℃以上酚类物质受热降解。

不同干燥方法对白芍中单萜苷类和酚酸类成分含量有一定的影响。在热风干燥过程中,干燥温度对单萜苷类和酚酸类成分含量也有一定的影响。因此需控制干燥温度,使有效成分最大程度保留。对于白芍不同干燥过程中单萜苷类和酚酸类成分含量的变化机制有待进一步研究。

### 3.3 不同干燥方法的综合评价

综合评价结果显示,真空冷冻干燥所得样品的综合得分最高,且该干燥方法耗时较短。热风60℃干燥所得样品的综合得分仅次于真空冷冻干燥,且该干燥方法耗时短,成本低,操作简便,在实际生产中也易实现。热风100℃干燥所得样品的综合得分最低,虽然该干燥方法耗时短但有效成分损失较多。晒干和阴干所得样品的综合得分较低,这2种干燥方法虽然成本低但耗时长、受环境及天气影响较大、

产品质量难控制,可能导致药材劣变、药性改变、有效成分损失等问题。

## 4 结论

干燥作为保证白芍药材品质的重要措施,是加工环节一个必不可少的工艺过程,干燥的好坏将直接影响白芍药材的质量和外观等。传统多采用晒干,药材质量不稳定,探讨现代干燥方法对白芍药材品质的影响具有重要意义。

真空冷冻干燥设备一次性投入较大,工艺操作较复杂。就目前的实际情况,真空冷冻干燥在白芍生产过程的应用还需要考虑成本及技术方面的问题,但是随着技术发展,真空冷冻干燥等现代干燥新技术应用越来越广泛。综合分析白芍干燥过程中成分含量、成本及实用性等,认为热风60℃干燥是较为适宜的白芍干燥方法。本研究从成分含量的角度研究干燥方法对白芍药材质量的影响,为提高药材生产效率,保证药材质量,为今后白芍产品的生产和活性物质的高效利用及后续研究提供了依据和参考。

## 参考文献

- 1 Chinese Pharmacopoeia Commission (国家药典委员会). Pharmacopoeia of the People's Republic of China (中华人民共和国药典). Beijing: China Medical Science Press, 2015. Vol I ,105.
- 2 Zhou Q (周强), Li ZG (栗占国). Pharmaceutical effects of total glucosides of peony and its application in autoimmune disease. *Chin J New Drugs Clin Rem* (中国新药与临床杂志), 2003, 22:687-691.
- 3 Chen ND (陈乃东), Chen H (陈翰), Chen NF (陈乃富), et al. Simultaneous determination of paeoniflorin and albiflorin in different years-old Bozhou peony paeonia lactiflora by HPLC. *Nat Prod Res Dev* (天然产物研究与开发), 2015, 27:1047-1051.
- 4 Huang QL, Ma XM, Zhu DL, et al. Total glucosides of peony attenuates experimental autoimmune encephalomyelitis in C57BL/6 mice. *J Neuroimmunol*, 2015, 284:67-73.
- 5 Li XP, Wang YP, Sun Q, et al. Molecularly imprinted solid phase extraction in a syringe filter for determination of triazine herbicides in Radix Paeoniae Alba by ultra-fast liquid chromatography. *Talanta*, 2016, 148:539-547.
- 6 Huo Y, Zhang Q, Li Q, et al. Development of a UFLC-MS/MS method for the simultaneous determination of seven tea catechins in rat plasma and its application to a pharmacoki-

- netic study after administration of green tea extract. *J Pharmaceut Biomed*, 2016, 125:229-235.
- 7 Li JL, Kim SY, Chen XG, et al. Calcium-alginate beads loaded with gallic acid: preparation and characterization. *Lwt-Food Sci Technol*, 2016, 68:667-673.
- 8 Duan JA (段金廒), Su SL (宿树兰), Lv JL (吕洁丽), et al. Traditional experiences and modern cognition on primary processing of traditional Chinese medicinal materials. *China J Chin Mater Med* (中国中药杂志), 2009, 34:3151-3157.
- 9 Zhao RH (赵润怀), Duan JA (段金廒), Gao ZJ (高振江), et al. Analysis and evaluation of traditional and modern drying technologies and methods of primary processing of traditional Chinese medicinal materials. *Mod Chin Med* (中国现代中药), 2013, 15:1026-1035.
- 10 Guan HL (管汉亮), Qian DW (钱大玮), Duan JA (段金廒), et al. Study on optimization of drying method and its mechanism in *Ginkgo biloba* leaves. *China J Chin Mater Med* (中国中药杂志), 2013, 38:2140-2146.
- 11 An KL (安开龙), Li DK (李德坤), Zhou DZ (周大铮), et al. Influence of different drying methods on quality of *Schisandrae Chinensis Fructus*. *China J Chin Mater Med* (中国中药杂志), 2014, 39:2900-2906.
- 12 Nie H (聂慧), Yan H (严辉), Qian DW (钱大玮), et al. Study on the effect of different processing methods in *Lilium lancifolium* Thunb. Bulbs. *Mod Chin Med* (中国现代中药), 2013, 15:308-313.
- 13 Jin L (金林), Zhao WS (赵万顺), Guo QS (郭巧生), et al. Optimization of extraction technology from *Paeoniae Radix Alba* using response surface methodology. *China J Chin Mater Med* (中国中药杂志), 2015, 40:2988-2993.
- 14 Duan JA (段金廒), Yan H (严辉), Su SL (宿树兰), et al. Establishment and practice for evaluating model of best harvest time of traditional Chinese medicinal materials. *Chin Tradit Herb Drugs* (中草药), 2010, 41:1755-1760.
- 15 Yu JJ (余捷婧), Wu JX (吴金雄), Liang YF (梁亚凤), et al. Simultaneous quantitative determination of six active compounds from *Paeoniae Rubra Radix* and *Paeoniae Alba Radix* by HPLC. *Chin Tradit Herb Drugs* (中草药), 2015, 46: 1673-1677.
- 16 Xu Y (许源), Liu P (刘培), Yan H (严辉), et al. Analysis of variation of monoterpene glycosides and polyhydroxy compounds in *Paeoniae Radix Alba* during preliminary processing. *J Chin Med Mat* (中药材), 2014, 37:775-780.
- 17 Zhan JJ (詹娟娟), Wu ZF (伍振峰), Wang YQ (王雅琪), et al. Status and problem analysis of drying process and equipment for traditional Chinese medicinal materials and preparations. *China J Chin Mater Med* (中国中药杂志), 2015, 40:4715-4720.
- 18 Xie JC (解江纯), Liu ZD (刘志东), Tian H (田慧), et al. Study on stability of paeoniflorin. *Tianjin J Tradit Chin Med* (天津中医药), 2010, 27:344-345.
- 19 Ciou JY, Lin HH, Chiang PY, et al. The role of polyphenol oxidase and peroxidase in the browning of water caltrop pericarp during heat treatment. *Food Chem*, 2011, 127:523-527.

(上接第 1782 页)

- 13 Edens NK, Reaves LA, Marti S, et al. Yeast extract stimulates glucose metabolism and inhibits lipolysis in rat adipocytes *in vitro*. *J Nutr*, 2002, 132:1141-1148.
- 14 Weksler-Zangen S, Mizrahi T, Raz I, et al. Glucose tolerance factor extracted from yeast: oral insulin-mimetic and insulin-potentiating agent: *in vivo* and *in vitro* studies. *British J Nutr*, 2012, 108:875-882.
- 15 Liu L (刘鹭), Lv JP (吕加平), Uluko H. Purification and characterization of chromium-binding substances from high-chromium yeast. *J Agric Food Chem*, 2013, 61:1279-1287.
- 16 Liu L (刘鹭), Kong FH (孔凡华), Zhang SW (张书文), et al. Response to comment on purification and characterization of chromium-binding substance from high-chromium yeast. *J Agric Food Chem*, 2013, 61:9282-9284.
- 17 Vincent JB. Comment on purification and characterization of chromium-binding substances from high-chromium yeast. *J Agric Food Chem*, 2013, 61:9280-9281.
- 18 Kong FH (孔凡华), Liu L (刘鹭), Zhang SW (张书文), et al. Purification of glucose tolerance factor of yeast. *Food Sci* (食品科学), 2014, 35(21):1-4.
- 19 Zhang XH (张新华). A preliminary study on the regulation of ethanol fermentation by yeast and glucose tolerance factor VHG and the structure of GTF. Xiamen: Huaqiao University (华侨大学), MSc. 2014.
- 20 Oepfer EW, Mertz W, Polansky MM, et al. Preparation of chromium-containing material of glucose tolerance factor activity from brewer's yeast extracts and by synthesis. *J Agric Food Chem*, 1976, 25:162-166.
- 21 Vincent JB. Mechanisms of chromium action: low-molecular-weight chromium-binding substance. *J Am Coll Nutr*, 1999, 18(1):6-12.
- 22 Wang YQ (王毅群), Yao MH (姚明辉). Effects of chromium picolinate on glucose uptake in insulin-resistant 3T3-L1 adipocytes involve activation of p38 MAPK. *J Nutr Biochem*, 2009, 20:982-991.