

引用格式:

邹萌, 陈小红, 陆英, 谢红旗, 谢玲. 基于灰色关联分析的芍药产地初加工条件优化[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2022, 48(6): 749-754.

ZOU M, CHEN X H, LU Y, XIE H Q, XIE L. Condition optimization of original processing methods of *Paeonia lactiflora* Pall. using grey correlation analysis[J]. Journal of Hunan Agricultural University(Natural Sciences), 2022, 48(6): 749-754.

投稿网址: <http://xb.hunau.edu.cn>



## 基于灰色关联分析的芍药产地初加工条件优化

邹萌, 陈小红, 陆英, 谢红旗, 谢玲\*

(湖南农业大学园艺学院, 湖南长沙 410128)

**摘要:** 以 2020 年版《中国药典》(一部)关于白芍、赤芍的产地初加工描述为依据, 采用色彩色差分析法、高效液相色谱法(HPLC)分析芍药鲜根经不同产地初加工处理后的外观、断面色度值和芍药苷含量, 并通过灰色关联分析方法对产地初加工条件进行优化。结果表明: 去皮处理、冷(热)水煮处理、水煮时间、干燥方式均对芍药苷含量有较大影响, 水煮处理对药材断面颜色和色度值亦有一定影响; 灰色关联分析进一步证明芍药苷含量与干燥方式关联度最高(关联系数为 0.834), 其次是水煮时间; 药材断面色度值与水煮时间的关联度较高, 关联系数为 0.746。推荐芍药鲜根产地初加工过程中以鲜根投入沸水中煮 1~8 min、去皮、60 °C 烘干的方式获得白芍饮片; 鲜根去杂后以 60 °C 烘干的方式获得赤芍饮片。

**关键词:** 芍药; 白芍; 赤芍; 产地初加工; 色度值; 芍药苷; 灰色关联分析

中图分类号: R282.4

文献标志码: A

文章编号: 1007-1032(2022)06-0749-06

## Condition optimization of original processing methods of *Paeonia lactiflora* Pall. using grey correlation analysis

ZOU Meng, CHEN Xiaohong, LU Ying, XIE Hongqi, XIE Ling\*

(College of Horticulture, Hunan Agricultural University, Changsha, Hunan 410128, China)

**Abstract:** This study was set to learn about the original processing methods of PAEONIAE RADIX ALBA(PRA) and PAEONIAE RADIX RUBRA(PRR) in the Part I of Chinese Pharmacopoeia(2020 version). We used color difference meters and high performance liquid chromatography(HPLC) methods to characterize the appearance, chromatic value of section and content of paeoniflorin after processing the fresh roots. Then grey correlation analysis(GCA) was applied to optimize different original processing conditions. The results showed that the content of paeoniflorin was significantly affected by peeling, cold or hot water boiling, boiling time and drying method, and boiling treatment also had partly influence the sectional color and chromatic value. The GCA analysis further showed that the correlation degree between the content of paeoniflorin and the drying method was the highest(correlation coefficient was 0.834), followed by the boiling time, and the value of correlation coefficient between the section chromatic value and boiling time was 0.746. Thus, our study found that the optimal processing method should prepare boiling 1-8 min for the fresh root, peeling and then drying at 60 °C for PRA, and drying at 60 °C for PRR.

**Keywords:** *Paeonia lactiflora* Pall.; PAEONIAE RADIX ALBA; PAEONIAE RADIX RUBRA; original processing; chromatic value; paeoniflorin; grey correlation analysis

收稿日期: 2022-03-15

修回日期: 2022-11-23

基金项目: 现代农业产业技术体系建设专项(CARS-21)

作者简介: 邹萌(1999—), 女, 湖南长沙人, 硕士研究生, 主要从事中药(包括药用菌)栽培与评价研究, 1157587332@qq.com; \*通信作者, 谢玲, 博士, 副教授, 主要从事中药(包括药用菌)栽培与评价研究, shirring2003@163.com

毛茛科植物芍药 *Paeonia lactiflora* Pall. 的根可作为白芍(PAEONIAE RADIX ALBA, PRA)和赤芍(PAEONIAE RADIX RUBRA, PRR) 2种中药的来源。2020年版《中国药典》(一部)对白芍、赤芍的产地初加工方法进行了简单笼统的说明:“置沸水中煮后除去外皮或去皮后再煮,晒干”以获得白芍<sup>[1]</sup>,除杂后晒干处理后得到赤芍。由于白芍、赤芍药材断面均为类白色或粉红色,直径差别也不大(白芍直径1~2.5 cm,赤芍直径0.5~3 cm),且芍药苷含量标准接近(白芍芍药苷含量 $\geq 1.6\%$ ,赤芍芍药苷含量 $\geq 1.8\%$ )等,导致2种中药材质量界限模糊不清,影响了后续切制加工和饮片质量。从小权等<sup>[2]</sup>对12批市售白芍饮片的性状、薄层、水分、含量的检测结果来看,中药饮片市场中相当部分白芍饮片质量存在问题。石雷磊等<sup>[3]</sup>也提出市面上白芍、赤芍中药饮片颜色各异,质量参差不齐。

本研究中,以2020年版《中国药典》(一部)关于白芍、赤芍的产地初加工的描述为依据,探索芍药根的产地初加工具体工艺流程,并通过灰色关联分析解析不同加工方式、药材断面颜色、芍药苷含量之间的关联,以揭示产地初加工对药材质量及品质的影响,为优选芍药适宜产地初加工方法提供依据,并为完善白芍、赤芍药材质量标准 and 进一步提高饮片质量标准提供借鉴。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

芍药鲜药材来自于浙江丽水,5~6年生,质量约为2 kg左右,经湖南农业大学彭晓英鉴定为毛茛科植物芍药(*Paeonia lactiflora* Pall.)的新鲜根。试验材料均取自同一芍药植株上直径约3 cm的主根、侧根。

芍药苷对照品(批号110736-201741,纯度 $\geq 95.7\%$ )购自中国药品生物制品检定所。甲醇、磷酸均为分析纯;甲醇、乙腈均为色谱纯;水为超纯水,其余试剂均为化学纯。

### 1.2 产地初加工方法

基于2020年版《中国药典》(一部)白芍、赤芍的产地初加工描述<sup>[1]</sup>,将去皮处理(包括去皮先后次序、去皮与否)、冷(沸)水处理、水煮时间(0、1、8、15、22、29、36 min)、干燥方式(晒干、60

℃烘干)等作为主要考察因素,设计13种产地初加工方法(表1),S1至S10为白芍饮片初加工处理,S11至S13为赤芍饮片初加工处理。其中,“冷水”指蒸馏水(约15℃储存);“冷水煮”指将芍药鲜根样品投入蒸馏水后启动热源加热;“沸水煮”意为将蒸馏水加热煮沸后再投入芍药鲜根样品继续加热。

表1 白芍与赤芍产地初加工方法

Table 1 The methods of original processing about PRA and PRR

处理	加工方法
S1	冷水煮 15 min, 去皮, 晒干
S2	沸水煮 15 min, 去皮, 晒干
S3	去皮, 冷水煮 15 min, 晒干
S4	去皮, 沸水煮 15 min, 晒干
S5	沸水煮 1 min, 去皮, 60℃烘干
S6	沸水煮 8 min, 去皮, 60℃烘干
S7	沸水煮 15 min, 去皮, 60℃烘干
S8	沸水煮 22 min, 去皮, 60℃烘干
S9	沸水煮 29 min, 去皮, 60℃烘干
S10	沸水煮 36 min, 去皮, 60℃烘干
S11	晒干
S12	60℃烘干
S13	去皮, 60℃烘干

## 1.3 测定方法

### 1.3.1 芍药苷含量的测定

1) 色谱条件: 色谱柱 Promosil C<sub>18</sub>(4.6 mm×250 mm, 5 μm); 流动相 A 为乙腈, 流动相 B 为 0.1%磷酸溶液(磷酸与水的体积比为 14:86)。梯度洗脱程序为: 0~5 min, 10%~20%A; 5~20 min, 20%~30%A; 20~25 min, 30%~40%A; 25~26 min, 40%~10%A; 26~35 min, 10%A; 检测波长为 230 nm; 柱温 30℃; 流速 1.0 mL/min; 进样量 10 μL。

2) 对照品溶液、供试品溶液的制备参照 2020 年版《中国药典》(一部)<sup>[1]</sup>进行。

3) 芍药苷的含量的测定: 准确称取适量芍药苷对照品, 加甲醇制成 1.278 mg/mL 的芍药苷溶液, 并依次稀释成含芍药苷 0.640、0.320、0.160、0.080、0.040、0.020 mg/mL 的溶液, 进样 10 μL, 采用 HPLC 法测定芍药苷的含量。

### 1.3.2 色度值测定

参照艾莉等<sup>[4]</sup>的方法测定色度值。色彩色差的测定条件: 光源 D<sub>65</sub>, 标准观察角度 2°, 照明口

径  $\Phi 50$  mm。仪器误差小于 0.6，重复性标准偏差小于 0.07，以色度值  $L$ 、 $a$ 、 $b$  进行色泽量化， $L$  为亮度值， $a$  为红绿色度坐标， $b$  为黄蓝色度坐标，总色值  $E$  的计算见公式(1)。

$$E = \sqrt{L^2 + a^2 + b^2} \quad (1)$$

### 1.3.3 灰色关联度分析

参照陈舒好等<sup>[5]</sup>、王黎等<sup>[6]</sup>的方法稍作改进。

1) 灰色系统的划分。按照灰色关联度分析要求，拟将芍药苷含量与水煮时间、去皮处理、冷(沸)水煮处理、干燥方式视为一个灰色系统；药材断面色度值与水煮时间、去皮处理、冷(沸)水煮处理、干燥方式划为另一个灰色系统。

2) 样品数据集的建立。以芍药苷含量、药材断面色度值作为指标性成分，建立芍药药材质量灰色模式识别数据集，确定参考序列。

3) 原始数据规格化的处理。设有  $n$  个样品，每个样品有  $m$  项评价指标，即组成评价单元序列  $\{X_{ik}\}$ ， $i=1, 2, 3, \dots, n$ ； $k=1, 2, 3, \dots, m$ 。由于评价指标之间存在测试单位不统一的问题，因此，按照公式(2)对原始数据进行规格化处理， $n=13$ ， $m=5$ 。

$$Y_{ik} = X_{ik} / X_k \quad (2)$$

式中： $Y_{ik}$  为规格化处理后的数据； $X_{ik}$  为原始数据； $X_k$  为  $n$  个样品第  $k$  个指标的均值。

4) 关联度的计算。用灰色关联度进行评价时，先将数据量化。去皮处理量化：不去皮，0；先去皮后水煮，1；先水煮后去皮，2。冷(沸)水煮量化：不作处理，0；冷水煮，1；沸水煮，2。干燥方式量化：晒干，1；低温烘干，2。按照公式(3)对原始数据进行规格化处理，计算差序列、最小差和最大差，并按照公式(4)和公式(5)分别计算关联系数和各指标的相对关联度，并按大小排序。

$$Y_{sk} = X_{sk} / X_k \quad (3)$$

式中： $Y_{sk}$  为第  $s$  个样品规格化处理后的数据； $X_{sk}$  为第  $s$  个样品的原始数据； $X_k$  为  $n$  个样品第  $k$  个指标的均值。

$$\xi_{k(s)}^i = \frac{\Delta_{\min} + \rho \Delta_{\max}}{|Y_{ik} - Y_{sk}| + \rho \Delta_{\max}} \quad (4)$$

式中： $\xi_{k(s)}^i$  为第  $s$  个样品的关联系数；

$\Delta_{\min} = |Y_{ik} - Y_{sk}|_{\min}$ ； $\Delta_{\max} = |Y_{ik} - Y_{sk}|_{\max}$ ； $i=1, 2, 3, \dots, n$ ； $k=1, 2, 3, \dots, m$ ； $\rho$  为分辨系数，取值 0.5。

$$r_{i(s)} = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m \xi_{k(s)}^i \quad (5)$$

式中： $r_{i(s)}$  为第  $s$  个样品的关联度。

### 1.3.4 统计分析方法

采用 PASW 18.0 for Windows 和 Origin 7.5 进行数据分析与处理；各组均数比较采用单因素方差分析，选择 LSD 进行多重比较。

## 2 结果与分析

### 2.1 芍药产地初加工方法对芍药苷含量的影响

#### 2.1.1 去皮对芍药苷含量的影响

从表 2 及图 1-A 可知，S1 组(冷水煮+去皮)白芍药材中芍药苷的质量分数为 1.90%，高于 S3 组(去皮+冷水煮)，且具有极显著差异；S2 组(沸水煮+去皮)芍药苷含量高于 S4 组(去皮+沸水煮)。推测先水煮后去皮处理可有效保留芍药苷含量。S13 组(去皮+烘干)的芍药苷质量分数为 4.57%，极显著高于 S12 组(烘干)。由此可见，去皮与否、去皮与水煮先后均对芍药苷含量有一定的影响。

表 2 产地初加工不同处理的芍药苷质量分数

Table 2 The content of paeoniflorin of different original processing methods %

处理	芍药苷质量分数
S1	(1.90±0.04)Hg
S2	(2.24±0.13)FGf
S3	(1.22±0.08)lh
S4	(2.08±0.12)GHfg
S5	(4.21±0.21)Bb
S6	(3.36±0.14)Dd
S7	(2.70±0.04)Ee
S8	(2.59±0.09)Ee
S9	(2.61±0.08)Ee
S10	(2.63±0.09)Ee
S11	(2.51±0.11)EFfe
S12	(3.92±0.23)Cc
S13	(4.57±0.14)Aa

同列数据不同小写字母、大写字母分别示处理间的差异有统计学意义( $P < 0.05$ 、 $P < 0.01$ )； $n=3$ 。

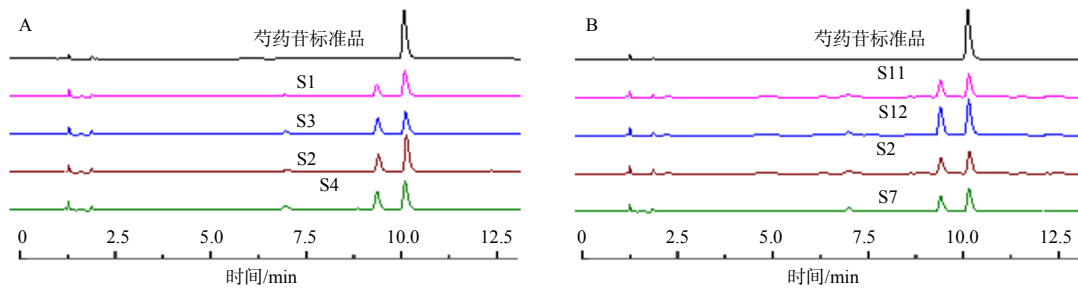


图 1 不同去皮处理(A)和干燥方式处理(B)的芍药苷含量的 HPLC 色谱图

Fig. 1 HPLC chromatogram of paeoniflorin content in *Paeonia lactiflora* Pall. with different peeling treatment(A) and drying methods(B)

### 2.1.2 冷(沸)水煮对芍药苷含量的影响

从表 2 和图 1-A 可知, S2(沸水煮 15 min+去皮)中芍药苷含量为 2.24%, 较 S1(冷水煮 15 min+去皮)中芍药苷含量(1.90%)高, 2 个处理之间具有极显著差异; S4 组(去皮+沸水煮 15 min)中芍药苷含量为 2.08%, 较 S3 组(去皮+冷水煮 15 min)的高, 且差异极显著。可见沸水煮处理后白芍药材中芍药苷含量大于冷水煮处理的。

### 2.1.3 水煮时间对芍药苷含量的影响

从表 2 和图 2 可以看出: S5 与 S6、S7、S8、S9、S10 之间均存在极显著差异; S6 与 S7、S8、S9、S10 之间也存在极显著差异; S7 与 S8、S9、S10 间无显著性差异。由此可见, 0~15 min, 芍药苷含量随着沸水煮时间延长急剧降低, 当沸水煮时间超过 15 min 后, 芍药苷含量降低的速度趋于平缓, 白芍药材中芍药苷含量受长时间水煮影响较大, 不建议长时间对白芍进行沸水煮处理, 时间控制在 8 min 内为宜。

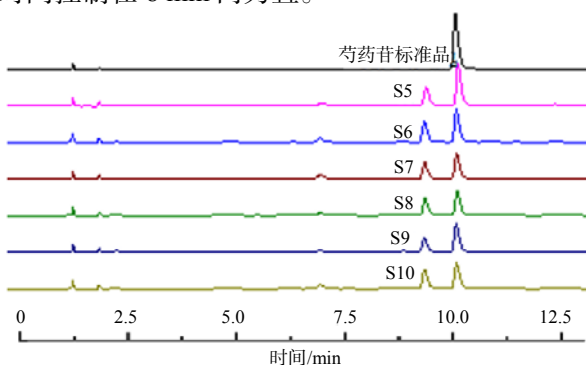


图 2 不同水煮时间白芍中芍药苷含量的 HPLC 色谱图

Fig.2 HPLC chromatogram of paeoniflorin content in PRA with different boiling time

### 2.1.4 干燥方式对芍药苷含量的影响

对比分析 60 °C 低温烘干、晒干处理芍药根后芍药苷的含量, 结果(表 2、图 1-B)表明, S12 组(60 °C 烘干)赤芍药材中芍药苷的质量分数为 3.92%, 高于 S11 组(晒干)56.17%, 具有极显著差异; S7 组(沸水煮 15 min+去皮+60 °C 烘干)芍药苷质量分数为 2.70%, 极显著高于 S2 组(沸水煮 15 min+去皮+晒干)。说明赤芍药材中芍药苷含量受长时间强光或紫外线影响很大, 不宜长时间对赤芍药材进行晒干处理。

## 2.2 芍药产地初加工对药材断面颜色和色度值的影响

从图 3 和表 3 可以看出, S1 至 S10 白芍样品均经过了水煮处理, 颜色多偏浅棕黄或浅棕红, 内层有明显筋脉纹, 色度值均大于 85; S11、S12、S13 赤芍样品均未作水煮处理, 内层多无明显筋脉纹, 颜色偏白, 色度值小于 85。推测水煮处理可能使芍药根中的某些成分发生改变, 从而导致颜色变化, 但无法确定产生变化的根本原因是水还是高温。进一步对水煮处理组 S1 至 S10 和未水煮处理组 S11、S12、S13 色度值进行分析, 发现 S2、S3、S4 与 S11 间存在显著差异。可见, 水煮处理会影响药材断面颜色和色度值, 也可以将其作为区别白芍和赤芍药材的依据之一。干燥方式对芍药外观也有一定的影响, 晒干处理组(S1、S2、S3、S4、S11)切制后多有边缘卷曲现象, 而 60 °C 低温烘干处理组(S5、S6、S7、S8、S9、S10、S12、S13)并无此种情况, 边缘较为平整。此外, 水煮前对芍药鲜根进行去皮处理和水煮处理时水温高低对药材断面颜色以及外观并无直接影响。



图 3 产地初加工不同处理的芍药断面颜色

Fig. 3 Section color of *Paeonia lactiflora* Pall. dealt by different original processing

表 3 产地初加工不同处理的芍药断面外观和色度值

**Table 3 The section color and chromatic value in *Paeonia lactiflora* Pall. dealt by with different original processing methods**

处理	断面颜色、外观	L	a	b	E
S1	浅棕黄, 内层有明显筋脉纹, 边缘卷曲	(86.00±2.17)BCDcd	(3.33±0.25)Ee	(10.67±0.32)Ee	(86.72±2.67)BCbc
S2	浅棕黄, 内层有明显筋脉纹, 边缘卷曲	(93.00±3.45)ABab	(3.33±0.34) Ee	(6.33±0.85)Gh	(93.27±4.47)ABab
S3	浅棕黄, 内层有明显筋脉纹, 边缘卷曲	(92.00±2.67)ABCabc	(4.67±0.29)Dd	(10.00±0.35)Eef	(92.66±3.03)ABab
S4	浅棕黄, 内层有明显筋脉纹, 边缘卷曲	(97.00±3.64)Aab	(1.67±0.28)Fg	(4.33±0.10)Hi	(97.11±4.53)Aa
S5	浅棕红, 内层有明显筋脉纹, 边缘平整	(86.67±3.96)BCDbcd	(7.67±0.45)Bb	(16.67±0.29)Dd	(88.59±4.17)ABCbc
S6	浅棕红, 内层有明显筋脉纹, 边缘平整	(84.33±3.51)BCDd	(8.67±0.23)Aa	(19.67±0.27)Bb	(87.03±4.34)BCbc
S7	浅棕红偏黄, 内层有明显筋脉纹, 边缘平整	(86.67±5.22)BCDbcd	(6.00±0.31)Cc	(18.33±0.42)Cc	(88.79±4.97)ABCbc
S8	棕红, 内层有明显筋脉纹, 边缘平整	(87.00±4.59)BCDbcd	(8.00±0.28)ABb	(17.00±0.24)Dd	(89.01±4.87)ABCbc
S9	棕黄偏红, 内层有明显筋脉纹, 边缘平整	(83.00±4.87)Dd	(8.67±0.32)Aa	(18.33±0.26)Cc	(85.44±5.02)BCc
S10	棕黄, 内层有明显筋脉纹, 边缘平整	(85.33±4.92)BCDd	(8.67±0.27) Aa	(21.00±0.11)Aa	(88.31±3.87)ABCbc
S11	粉白边缘褐, 内层无明显筋脉纹, 边缘卷曲	(84.00±3.65)CDd	(6.33±0.54)Cc	(3.33±0.31)Ij	(84.30±4.02)BCc
S12	粉白边缘黄, 内层无明显筋脉纹, 边缘平整	(81.67±3.12) Dd	(3.00±0.22)Eef	(9.33±0.26)Fg	(82.25±3.59)Cc
S13	粉白, 内层无明显筋脉纹, 边缘平整	(84.00±3.80)CDd	(2.67±0.16)Ef	(9.33±0.20)Fg	(84.56±3.56)BCc

同列数据不同小写字母、大写字母分别示处理间的差异有统计学意义( $P < 0.05$ 、 $P < 0.01$ );  $n=3$ 。

### 2.3 灰色关联分析

收集各类原始数据, 对数据进行规格化处理和关联度分析, 结果见表 4。由表 4 可知, 芍药苷含量与干燥方式关联度最高, 关联系数为 0.834, 其次为水煮时间, 冷(沸)水煮处理、去皮处理与芍药苷含量的关联度系数较为接近。表明芍药苷含量受产地初加工中干燥方式、水煮时间影响较大。

药材断面色度值与水煮时间的关联度最高, 关联系数为 0.746, 其后依次为去皮处理、冷(沸)水煮处理、干燥方式。说明了水煮处理对白芍、赤芍药材断面颜色有一定的影响。

综上, 白芍药材产地初加工较优方案为芍药鲜根投入沸水中煮 1~8 min, 去皮, 60 °C 烘干。赤芍产地初加工较优方案为芍药鲜根去除杂质后 60 °C 烘干。

表 4 产地初加工条件与芍药苷含量和断面色度值的相对关联度

Table 4 Relative correlation among original processing conditions, paeoniflorin content and chromatic value

加工条件	与芍药苷含量的关联度	与断面色度值的关联度
水煮时间	0.711	0.746
去皮处理	0.615	0.683
冷(沸)水煮处理	0.648	0.637
干燥方式	0.834	0.603

### 3 结论与讨论

目前市面上白芍、赤芍药材质量参差不齐, 原因之一是缺乏标准化产地初加工工艺作为参考; 因此, 中药材的产地初加工日益引起了人们的关注和重视<sup>[7-8]</sup>。关于芍药的产地初加工处理,

不同研究者持有不同的观点,有学者认为加工后芍药苷含量增加<sup>[9-10]</sup>,部分学者认为降低<sup>[11]</sup>,个别学者则认为影响不大<sup>[12]</sup>。金传山等<sup>[13]</sup>认为造成不同结论的原因与加工程度不同有关。王秋玲等<sup>[14]</sup>认为不同来源的饮片化学成分组成比例不同。

本研究中,挑选了生长年限较长、根系发达、质量为2 kg左右的芍药根作为试验对象,从同一芍药植株上选取直径约3 cm的主根、侧根分别进行多种加工处理,基本上避免了鲜药材本身的质量差异引起的误差。

本研究中,采用HPLC测定了芍药中芍药苷的含量。结果表明:水煮处理一定程度上导致了芍药苷含量的降低,但如果水煮时间控制在8 min以内,芍药苷含量并不会较大的变化。同时,沸水煮处理后白芍药材中芍药苷含量大于冷水煮处理,此结果与李越峰等<sup>[15]</sup>的研究结果一致。此外,由于赤芍药材中芍药苷含量受长时间强光或紫外线影响较大,建议农户为了保证赤芍药材质量,不宜对其进行长时间晒干处理。

在相对关联度分析中,水煮时间与芍药苷含量的关联度排在第二位,与药材断面色度值关联度排在第一位,说明芍药产地初加工步骤中水煮处理对药材品质影响较大,建议芍药产地初加工规范化流程中添加水煮时间。值得关注的是,与芍药苷含量关联度最高的是干燥方式,其次为水煮时间,进一步说明芍药苷成分容易受到高温或光线的影响。

综合分析所得,白芍饮片以鲜根投入沸水中煮1~8 min、去皮、60℃烘干效果最佳;赤芍饮片以鲜根去杂后60℃烘干最佳。所测得芍药苷含量远高于2020版《中国药典》规定采用的500倍稀乙醇提取的测定结果,能真实反映芍药中芍药苷的含量。

#### 参考文献:

[1] 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,2020:108.

- [2] 田小权,马跃新. 对十二批抽验市售白芍饮片几个质量指标的检验分析[J]. 世界最新医学信息文摘, 2016, 16(44): 123.
- [3] 石雷磊,徐建中. 杭白芍产地初加工方法研究[J]. 浙江中西医结合杂志, 2017, 27(12): 1092-1094.
- [4] 艾莉,陈君程,张继良,等. 基于色彩色差计的川楝子炮制前后含量和颜色变化[J]. 成都中医药大学学报, 2011, 34(4): 81-83.
- [5] 陈舒妤,石婧婧,邹立思,等. UFLC-Q-TRAP-MS/MS同时测定五味子中木脂素及有机酸类成分[J]. 中国中药杂志, 2018, 43(10): 2104-2111.
- [6] 王黎,罗静,裴瑾,等. 橘核柠檬苦素类化合物积累与功能基因表达的灰色关联度分析[J]. 中草药, 2017, 48(2): 345-350.
- [7] 张萍,李明华,石岩,等. 2017年全国中药材及饮片质量概况[J]. 中国中药杂志, 2018, 43(21): 4198-4202.
- [8] 张萍,李明华,石岩,等. 2013—2016年我国中药材及饮片质量状况及相关问题探讨[J]. 中国药事, 2018, 32(4): 438-444.
- [9] 张云. 白芍药材产地加工工艺初探[J]. 中国中药杂志, 2007, 32(10): 993-995.
- [10] 金林,赵万顺,郭巧生,等. 芍药根化学成分分布及加工工艺研究[J]. 中国中药杂志, 2015, 40(10): 1953-1959.
- [11] 胡敏伶,任江剑,王志安. 采收期和加工方法对杭白芍中芍药苷含量的影响[J]. 中国现代中药, 2010, 12(1): 27-29.
- [12] 魏硕,董诚明,朱昀昊,等. 新疆引种芍药根不同部位芍药苷及苯甲酸分布规律研究[J]. 中药材, 2017, 40(4): 828-830.
- [13] 金传山,方成武,王德群. 安徽白芍的采收季节与产地加工探讨[J]. 基层中药杂志, 2000, 14(3): 30.
- [14] 王秋玲,王文全,魏胜利,等. 不同加工方法对栽培和野生芍药中7种化学成分的影响研究[J]. 中国中药杂志, 2012, 37(7): 920-924.
- [15] 李越峰,严兴科. 赤芍和白芍不同部位芍药苷和苯甲酸的含量分析研究[J]. 时珍国医国药, 2012, 23(3): 519-520.

责任编辑:毛友纯

英文编辑:柳正