

## 大力参炮制工艺及主要化学成分与颜色相关性分析

王艺霏, 初奇, 孙佳莹, 张译丹, 罗健顺, 胡亚男\*, 高红梅\*

长春中医药大学, 吉林 长春 130117

**摘要:** 目的 优化大力参炮制工艺, 并探究炮制过程中颜色与内在质量的相关性。方法 采用高效液相色谱法 (HPLC) 建立8种人参皂苷的含量测定方法; 采用紫外分光光度法 (UV) 建立人参总皂苷、人参多糖的含量测定方法。以人参皂苷  $Rg_1$ 、人参皂苷  $Rb_1$ 、人参皂苷  $Re$ 、人参多糖、人参总皂苷的含量及饮片外观性状评分作为指标, 运用层次分析法 (AHP)-熵权法结合响应面法考察料液比、参根直径和烫制时间对大力参炮制工艺的影响, 得出最佳炮制工艺并进行验证。利用测色仪对不同炮制工艺的大力参样品粉末进行色度值测定, 选择8种人参皂苷、人参多糖和人参总皂苷含量对大力参进行内在质量评价, 对色度值和上述指标含量进行 Pearson 相关性分析、主成分分析 (PCA)、层次聚类分析 (HCA) 和正交偏最小二乘法判别分析 (OPLS-DA)。结果 优选的大力参炮制工艺为料液比 1:10, 参根直径范围为 2.1~2.5 cm, 烫制时间 10 min。6次验证结果显示, 最优炮制工艺的平均综合评分为 80.55, 与预测值的相对偏差为 1.10%。相关性分析结果显示, 人参多糖、人参总皂苷、人参皂苷  $Rg_1$ 、人参皂苷  $Rb_1$ 、人参皂苷  $Rf$ 、人参皂苷  $Re$ 、人参皂苷  $Rb_2$ 、人参皂苷  $Rb_3$ 、人参皂苷  $Rd$  含量与明度值 ( $L^*$ )、红绿色 ( $a^*$ )、黄蓝色 ( $b^*$ ) 以及总色度值 ( $E^*$ ) 均呈显著正相关, 人参皂苷  $Re$  与  $a^*$  呈显著正相关, 与  $L^*$ 、 $b^*$ 、 $E^*$  无相关性。PCA 及 HCA 结果显示, 不同炮制工艺的大力参可聚为 2 类。OPLS-DA 结果显示人参皂苷  $Rf$ 、 $Rd$ 、 $Rb_1$  含量是大力参炮制过程中的重要质量指标,  $a^*$  是大力参炮制过程中的重要颜色指标。结论 建立的大力参炮制工艺稳定可行, 且大力参颜色与内在质量具有一定相关性。

**关键词:** 大力参; Box-Behnken 响应面法; 层次分析法-熵权法; 炮制工艺; 色度值; 人参皂苷  $Rg_1$ ; 人参皂苷  $Rb_1$ ; 人参多糖

中图分类号: R284.1 文献标志码: A 文章编号: 1674-6376 (2024) 11-2613-14

DOI: 10.7501/j.issn.1674-6376.2024.11.017

## Analysis of color correlation between processing technology and main chemical components of Dali ginseng

WANG Yifei, CHU Qi, SUN Jiaying, ZHANG Yidan, LUO Jianshun, HU Yanan, GAO Hongmei

Changchun University of Chinese Medicine, Changchun 130117, China

**Abstract: Objective** To optimize the artillery process of Dali ginseng and to investigate the correlation between color and intrinsic quality during the artillery process. **Methods** A high performance liquid chromatographic (HPLC) method was established for the determination of eight ginsenosides; an ultraviolet spectrophotometric (UV) method was established for the determination of total ginsenosides and ginseng polysaccharides. Based on the Box Behnken response surface experiment, the content of ginsenoside  $Rg_1$ , ginsenoside  $Rb_1$ , ginsenoside  $Re$ , ginseng polysaccharide, and total ginsenosides, and the scores of the appearance properties of the decocting pieces were used as indicators, optimization of the processing technology of Ginseng preparation using AHP-entropy weighting method. Determination of colorimetric values of the powder of Dali ginseng samples with different processing technology using a colorimeter, selection of eight ginsenosides, ginseng polysaccharides and total ginsenoside content for the determination of intrinsic quality of Dali ginseng, Pearson correlation analysis, principal component analysis (PCA), hierarchical cluster analysis (HCA) and orthogonal partial least squares (OPLS-DA) were performed on the color and the content of the above indicators. **Results** Preferably the concoction process of Dali ginseng was 1:10 ratio of material to liquid, the diameter of ginseng root was 2.2 cm, and

收稿日期: 2024-05-11

基金项目: 2023 年全国中药特色技术传承人才培养项目 (T20234832005); 2022 年国家中药炮制技术传承基地建设项目 (国中医药科技中药便函[2022]59 号)

第一作者: 王艺霏 (1999—), 女, 硕士研究生, 研究方向为中药炮制关键技术及科学内涵。E-mail: 1749275417@qq.com

\*共同通信作者: 胡亚男, 教授, 博士生导师, 博士, 研究方向为中医脑病学临床与科研。E-mail: 19150688@qq.com

高红梅, 教授, 博士生导师, 博士, 研究方向为中药炮制关键技术及科学内涵。E-mail: gaohm@ccucm.edu.cn

the blanching time was 10 min. The results of the six validation tests showed that the average composite score of the optimal concoction process was 80.55 with a relative deviation of 1.10% from the predicted value. The results of the correlation analysis showed that ginseng polysaccharide, total ginsenosides, and ginsenosides Rg<sub>1</sub>, Rb<sub>1</sub>, Rf, Rc, Rb<sub>2</sub>, Rb<sub>3</sub>, and Rd contents showed significant positive correlations with  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ , and  $E^*$ , ginsenoside Re showed a significant positive correlation with  $a^*$ , no correlation with  $L^*$ ,  $b^*$ ,  $E^*$ . The results of PCA and HCA showed that the different concoctions of Dali Ginseng could be clustered into two categories: The processed samples of D1—D12 and D13—D17. OPLS-DA results show that ginsenosides Rf, Rd, and Rb<sub>1</sub> content were important quality indicators in the process of Dali ginseng concoction,  $a^*$  was an important color indicator in the process of Dali ginseng concoction. **Conclusion** The established Dali ginseng concoction process is stable and feasible, and the color of Dali ginseng has a certain correlation with its intrinsic quality, which can provide a reference for the subsequent evaluation of the quality of Dali ginseng.

**Key words:** Dali ginseng; Box-Behnken response surface methodology; AHP-entropy weight method; processing technology; colorimetric value; ginsenoside Rg<sub>1</sub>; ginsenoside Rb<sub>1</sub>; ginseng polysaccharide

人参是五加科人参 *Panax ginseng* C.A. Mey. 的干燥根和根茎,《神农本草经》记载人参主补五脏,安精神,定魂魄,止惊悸,除邪气,明目,开心益智;久服,轻身延年<sup>[1]</sup>;味微苦、甘,具有大补元气、复脉固脱、补脾益肺、生津养血、安神益智等功效<sup>[2]</sup>;人参的化学成分有皂苷、多糖、挥发油、蛋白质、有机酸、多肽、微量元素等<sup>[3]</sup>,其中人参皂苷及多糖是其主要的活性成分,具有抗疲劳<sup>[4-5]</sup>、抗肿瘤<sup>[6]</sup>、抗糖尿病<sup>[7]</sup>、增强免疫功能<sup>[8-9]</sup>等药理作用。

大力参又称为烫通参或烫参,是将新鲜人参用沸水浸煮或气烫后晒干而成<sup>[10]</sup>。大力参芦、体具备,有支根残部,质地坚实,表面黄白色或黄色,有不规则纵皱纹,断面透明角质样,皮层与髓部之间有明显的黄色环,味苦微甘<sup>[10]</sup>。传统大力参的加工仅在《宣和奉使高丽图经》<sup>[11]</sup>《冯氏锦囊秘录》<sup>[12]</sup>中有记载,目前大力参的相关研究较少<sup>[10-12]</sup>,尚无大力参炮制工艺研究,本实验进行探索并优化大力参的炮制工艺。以料液比、参根直径、烫制时间为考察因素,以人参皂苷 Rg<sub>1</sub>、Rb<sub>1</sub>、Re、人参多糖、人参总皂苷含量及外观性状为评价指标,应用 Box-Behnken 响应面法对大力参炮制工艺进行优化,并运用层次分析法(AHP)-熵权法对多指标进行综合评分,主客观共同评价炮制品的品质,以期得到大力参最佳炮制工艺。并应用测色仪对不同炮制条件的样品粉末进行色度值测定,探究炮制过程中样品颜色与各成分含量之间的相关性,为大力参质量评价和成分研究提供更科学的依据。

## 1 仪器与材料

### 1.1 仪器

LC-2030 高效液相色谱仪(日本岛津公司);DE-100g 万能高速粉碎机(浙江红景天工贸有限公司);FA1204B 万分之一电子天平(上海精密科学仪器有

限公司);BT25S 十万分之一分析天平(北京赛多利斯科学仪器有限公司);KQ-250B 超声波清洗器(昆山市超声仪器有限公司);HH-2 恒温水浴锅(常州国华电器有限公司);TU-1901 双光束紫外可见分光光度计(北京普析通用仪器有限公司);SHB-III 循环水式多用真空泵(郑州长城科工贸有限公司);LC-E096P 电陶炉(广东顺德忠臣电器有限公司);3NH-TS6010 型台式分光测色仪(深圳市三恩时科技有限公司);B01-12NA0024 型真空冷冻干燥机(宁波新芝生物科技有限公司)。

### 1.2 药材与试剂

人参样品(批号 2023072304、2023091211、2023091902、2023092203、2023092207、2023092212、2023092403)购自通化市踏花行土特产有限公司,产地为吉林省通化市,经长春中医药大学高红梅教授鉴定为五加科植物人参 *Panax ginseng* C. A. Mey. 的干燥根和根茎。

人参皂苷 Rg<sub>1</sub>、人参皂苷 Rb<sub>1</sub>、人参皂苷 Re、人参皂苷 Rb<sub>2</sub>、人参皂苷 Rb<sub>3</sub>、人参皂苷 Rd、人参皂苷 Rc、人参皂苷 Rf(批号 110703-200726、Z20S9X70603、110754-201626、111715-201203、111686-201504、111818-201603、P23O11L122926、494753-69-4,质量分数 98%,中国食品药品检定研究院);D-无水葡萄糖(批号 S22J12H137237,上海源叶生物科技有限公司);色谱纯乙腈(批号 203023,美国 Fisher 有限公司);色谱纯磷酸(批号 2020060101,上海光华化学试剂有限公司);分析纯甲醇(批号 2023020801,成都市科隆化学品有限公司);三氯甲烷(批号 20220714)、正丁醇(批号 20221016),北京化工厂有限公司;无水乙醇(批号 1804181)、乙醚(批号 20221212)、丙酮(批号 20221101)、硫酸(批号 200925)、苯酚(批号 C12330771),上海麦克林生化

科技有限公司;蒸馏水(批号20230928,广州屈臣氏食品饮料有限公司)。

## 2 方法与结果

### 2.1 8种人参皂苷的含量测定方法

**2.1.1 对照品母液的制备** 精密称定8种人参皂苷对照品,置于5 mL量瓶内,配制成人参皂苷Rg<sub>1</sub>、Re、Rb<sub>1</sub>、Rb<sub>2</sub>、Rb<sub>3</sub>、Rc、Rd、Rf质量浓度分别为2.00、2.02、2.00、2.02、2.00、1.98、2.00、2.00 mg·mL<sup>-1</sup>的混合对照品母液。

**2.1.2 供试品溶液制备** 称取10倍量的水,煮沸后投入净制鲜参,烫制10 min,35℃烘干,即得大力参预制品。取大力参预制品,粉碎,取粉末(过四号筛)约1 g,按《中国药典》2020年版“人参”项下方法<sup>[2]</sup>制备,得质量浓度为100 mg·mL<sup>-1</sup>的供试品溶液。

**2.1.3 色谱条件** 色谱柱Alltima™ C<sub>18</sub>(250 mm×4.6 mm, 5 μm),流动相为乙腈(A)-0.1%磷酸水(B),体积流量1 mL·min<sup>-1</sup>,检测器波长203 nm,柱温25℃,进样量10 μL。梯度洗脱程序见表1。

表1 梯度洗脱

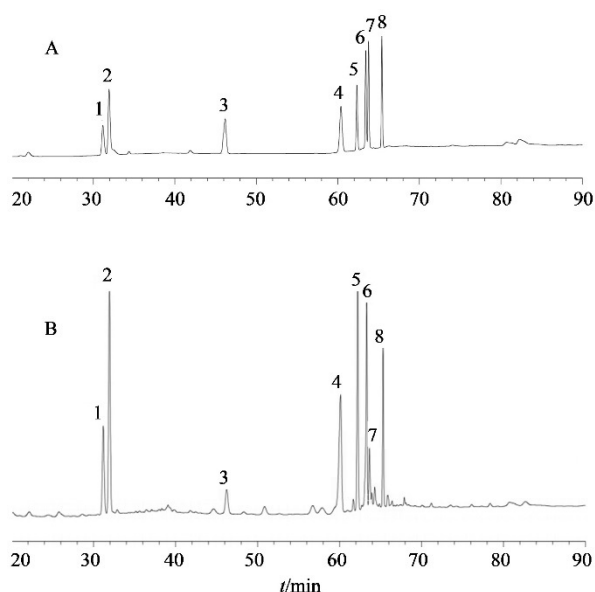
Table 1 Gradient elution

| t/min | 流动相 A/% |
|-------|---------|
| 0~15  | 20~21   |
| 15~20 | 21~22   |
| 20~35 | 22~30   |
| 35~55 | 30      |
| 55~60 | 30~45   |
| 60~75 | 45~48   |

**2.1.4 专属性考察** 混合对照品和供试品色谱图见图1。

**2.1.5 线性关系考察** 取“2.1.1”项下溶液,制备成不同质量浓度梯度对照品溶液,按“2.1.3”条件测定。以质量浓度为横坐标,峰面积为纵坐标,绘制8种人参皂苷标准曲线及回归方程,结果见表2。

**2.1.6 方法学考察** 以“2.1.3”项下色谱条件连续进样6次混合对照品溶液,考察仪器精密度;取同一供试品溶液,分别于配制后的0、2、4、6、8、10、12、24 h进样,考察样品稳定性;取同一份供试品粉末1 g,精密称定,平行称取6份,按“2.1.2”项下方法制备成供试品溶液后进样,考察方法重复性;取已完成含量测定的样品粉末约0.5 g,精密称定,平行称取9份,随机分为3组,每组3份,依次精密加入50%、100%、150%的对照品溶液后进样,对加样回收率进



1-人参皂苷Rg<sub>1</sub>;2-人参皂苷Re;3-人参皂苷Rf;4-人参皂苷Rb<sub>1</sub>;5-人参皂苷Rc;6-人参皂苷Rb<sub>2</sub>;7-人参皂苷Rb<sub>3</sub>;8-人参皂苷Rd。

1-ginsenoside Rg<sub>1</sub>; 2-ginsenoside Re; 3-ginsenoside Rf; 4-ginsenoside Rb<sub>1</sub>; 5-ginsenoside Rc; 6-ginsenoside Rb<sub>2</sub>; 7-ginsenoside Rb<sub>3</sub>; 8-ginsenoside Rd。

图1 混合对照品(A)与供试品溶液(B)HPLC图

Fig. 1 HPLC plot of mixed control (A) and test solution (B)

表2 8种人参皂苷成分线性回归方程与线性范围

Table 2 Linear regression equations and linear range of eight ginsenoside components

| 人参皂苷            | 线性回归方程              | R <sup>2</sup> | 线性范围/(μg·mL <sup>-1</sup> ) |
|-----------------|---------------------|----------------|-----------------------------|
| Rg <sub>1</sub> | Y=3 528.8 X+6 686.6 | 0.999 7        | 2.500~900.000               |
| Re              | Y=3 107.2 X+11 146  | 0.999 5        | 2.525~909.000               |
| Rb <sub>1</sub> | Y=2 767.1 X+2 780.5 | 0.999 7        | 2.500~900.000               |
| Rb <sub>2</sub> | Y=2 637.7 X+44 547  | 0.999 1        | 2.525~707.000               |
| Rb <sub>3</sub> | Y=2 294.8 X+28 847  | 0.999 0        | 2.500~700.000               |
| Rc              | Y=2 655.4 X+27 257  | 0.999 2        | 2.475~693.000               |
| Rd              | Y=3 086.6 X+32 984  | 0.999 1        | 2.500~700.000               |
| Rf              | Y=3 222 X+7 512.4   | 0.999 6        | 2.525~707.000               |

行考察。精密度、稳定性、重复性RSD均<1.45%,加样回收率在98.35%~99.55%,RSD<1.67%,均符合规定。

**2.1.7 样品含量测定** 本研究中,鲜参净制后,35℃烘干,即得生晒参样品记为Y,响应面设计的17组大力参样品,分别记为D1~D17,具体炮制条件见表3。取大力参炮制样品,按“2.1.2”项下方法制备供试品溶液,按照“2.1.3”项下色谱条件测定样品中各成分含量,结果见表3。

## 2.2 人参多糖与人参总皂苷含量测定方法

**2.2.1 对照品溶液制备** 分别精密称取无水葡萄

表3 8种人参皂苷含量测定结果

Table 3 Determination of ginsenoside content of eight ginseng saponins

| 样品  | 料液比  | 参根直径/cm | 烫制时间/min | 人参皂苷 R <sub>g1</sub> /% | 人参皂苷 Re/% | 人参皂苷 Rb <sub>1</sub> /% | 人参皂苷 Rf/% | 人参皂苷 Rc/% | 人参皂苷 Rb <sub>2</sub> /% | 人参皂苷 Rb <sub>3</sub> /% | 人参皂苷 Rd/% |
|-----|------|---------|----------|-------------------------|-----------|-------------------------|-----------|-----------|-------------------------|-------------------------|-----------|
| Y   | —    | —       | —        | 0.178 4                 | 0.153 2   | 0.188 4                 | 0.067 3   | 0.124 9   | 0.275 6                 | 0.068 4                 | 0.055 4   |
| D1  | 1:8  | 1.6~2.0 | 10       | 0.174 8                 | 0.383 2   | 0.279 4                 | 0.115 6   | 0.382 9   | 0.454 7                 | 0.157 3                 | 0.159 6   |
| D2  | 1:12 | 1.6~2.0 | 10       | 0.186 4                 | 0.250 6   | 0.202 2                 | 0.105 1   | 0.372 7   | 0.494 4                 | 0.122 7                 | 0.187 5   |
| D3  | 1:8  | 2.6~3.0 | 10       | 0.159 1                 | 0.271 6   | 0.197 4                 | 0.070 3   | 0.333 0   | 0.335 8                 | 0.092 8                 | 0.153 8   |
| D4  | 1:12 | 2.6~3.0 | 10       | 0.184 8                 | 0.278 1   | 0.155 2                 | 0.098 7   | 0.339 2   | 0.434 8                 | 0.105 2                 | 0.143 1   |
| D5  | 1:8  | 2.1~2.5 | 7        | 0.160 6                 | 0.208 2   | 0.184 0                 | 0.095 3   | 0.283 6   | 0.394 1                 | 0.073 4                 | 0.098 3   |
| D6  | 1:12 | 2.1~2.5 | 7        | 0.147 6                 | 0.193 6   | 0.232 3                 | 0.079 7   | 0.285 8   | 0.443 2                 | 0.099 4                 | 0.149 7   |
| D7  | 1:8  | 2.1~2.5 | 13       | 0.156 1                 | 0.251 6   | 0.161 3                 | 0.101 7   | 0.363 0   | 0.567 6                 | 0.119 8                 | 0.215 9   |
| D8  | 1:12 | 2.1~2.5 | 13       | 0.182 6                 | 0.160 0   | 0.219 3                 | 0.092 2   | 0.322 3   | 0.471 7                 | 0.126 9                 | 0.174 8   |
| D9  | 1:10 | 1.6~2.0 | 7        | 0.221 5                 | 0.276 6   | 0.267 1                 | 0.081 6   | 0.391 0   | 0.585 9                 | 0.151 8                 | 0.153 4   |
| D10 | 1:10 | 2.6~3.0 | 7        | 0.093 9                 | 0.178 0   | 0.152 5                 | 0.067 1   | 0.113 4   | 0.271 7                 | 0.052 1                 | 0.046 2   |
| D11 | 1:10 | 1.6~2.0 | 13       | 0.252 9                 | 0.269 7   | 0.194 9                 | 0.114 9   | 0.372 6   | 0.534 3                 | 0.150 5                 | 0.197 1   |
| D12 | 1:10 | 2.6~3.0 | 13       | 0.201 0                 | 0.245 5   | 0.204 6                 | 0.118 1   | 0.403 4   | 0.546 2                 | 0.137 2                 | 0.185 8   |
| D13 | 1:10 | 2.1~2.5 | 10       | 0.286 3                 | 0.282 9   | 0.312 3                 | 0.191 7   | 0.521 8   | 0.800 7                 | 0.201 2                 | 0.354 4   |
| D14 | 1:10 | 2.1~2.5 | 10       | 0.204 6                 | 0.332 6   | 0.334 8                 | 0.132 4   | 0.419 5   | 0.601 9                 | 0.158 3                 | 0.222 1   |
| D15 | 1:10 | 2.1~2.5 | 10       | 0.264 1                 | 0.226 5   | 0.280 8                 | 0.143 6   | 0.431 1   | 0.625 6                 | 0.162 4                 | 0.224 4   |
| D16 | 1:10 | 2.1~2.5 | 10       | 0.266 0                 | 0.292 4   | 0.314 9                 | 0.169 2   | 0.410 3   | 0.605 3                 | 0.157 1                 | 0.253 2   |
| D17 | 1:10 | 2.1~2.5 | 10       | 0.299 1                 | 0.260 6   | 0.282 7                 | 0.179 5   | 0.519 3   | 0.866 7                 | 0.208 9                 | 0.274 1   |

糖、人参皂苷 Re 对照品 10.0 mg, 无水葡萄糖加蒸馏水溶解并定容于 100 mL 量瓶中, 得到质量浓度为 0.1 mg·mL<sup>-1</sup> 的葡萄糖对照品溶液, 人参皂苷 Re 加甲醇定容于 10 mL 量瓶中, 得到 1.0 mg·mL<sup>-1</sup> 的对照品溶液。

**2.2.2 供试品溶液制备** 称取大力参样品粉末(过四号筛)2.5 g 于圆底烧瓶中, 精密加入 50 mL 蒸馏水, 混匀, 100 °C 沸水浴回流提取 3 h, 趁热抽滤, 抽滤瓶预热。滤渣与滤纸共同放回圆底烧瓶中, 精密加入 50 mL 蒸馏水再次加热回流 3 h, 趁热抽滤, 合并 2 次抽滤液, 加入 95% 乙醇调乙醇浓度至 75%, 4 °C 密封放置 24 h, 4 000 r·min<sup>-1</sup> 离心 10 min, 沉淀用无水乙醇、丙酮、乙醚依次洗涤, 冷冻干燥, 即得大力参人参多糖粉末<sup>[13]</sup>。取 10 mg 多糖粉末, 精密称定, 加蒸馏水溶解并定容于 100 mL 量瓶, 即得供试品溶液。

取大力参, 切厚片, 称取 20 g, 用 12 倍的蒸馏水煎煮 2 次, 第 1 次 2 h, 第 2 次 1.5 h, 煎液滤过, 合并滤液, 采用 D101 大孔树脂柱吸附, 水洗脱至无色, 用 60% 乙醇洗脱, 收集 60% 乙醇洗脱液, 滤液浓缩, 干燥, 粉碎即得总皂苷粉末。取总皂苷粉末约 50 mg, 精密称定, 加甲醇配制成质量浓度为 2 mg·mL<sup>-1</sup> 的

供试品溶液。

**2.2.3 人参多糖线性关系考察** 分别精密吸取葡萄糖对照品溶液 0、0.2、0.4、0.6、0.8、1.0、1.2、1.4 mL 于 10 mL 具塞试管中, 分别加蒸馏水至 2 mL, 混匀, 加入 1 mL 6% 苯酚溶液, 混匀后加 5 mL 浓硫酸, 沸水浴加热 15 min, 冰水浴冷却 10 min, 室温下静置 15 min, 使其反应完全。在 490 nm 波长处进行吸光度测定, 以葡萄糖质量浓度为横坐标, 吸光度为纵坐标, 绘制标准曲线, 得到线性回归方程  $Y=62.057 X+0.07$ ,  $R^2=0.999 8$ , 结果表明, 葡萄糖在 0.002 5~0.017 5 mg·mL<sup>-1</sup> 线性关系良好。

**2.2.4 人参总皂苷线性关系考察** 按《中国药典》2020 年版<sup>[2]</sup>“人参总皂苷”项下标准曲线的制备方法, 制备人参皂苷 Re 对照品溶液, 在 540 nm 的波长处测定吸光度, 以吸光度为纵坐标, 质量浓度为横坐标绘制标准曲线。得到线性回归方程  $Y=28.068 X+0.005 1$ ,  $R^2=0.999 4$ , 结果表明总皂苷在 0.004~0.040 mg·mL<sup>-1</sup> 线性关系良好。

**2.2.5 样品含量测定** 取样品 Y、D1~D17, 按“2.2.2”项下方法制备供试品溶液, 精密吸取 1 mL 多糖供试品溶液, 50 μL 人参总皂苷供试品溶液, 按“2.2.3”“2.2.4”项下方法进行显色与测定, 按照标



准曲线计算含量,结果见表4。

### 2.3 外观性状评分

通过预试验对大力参的外观及其饮片断面进行观察(图2),对不同炮制条件得到的饮片制定了以下评分标准,评分表见表5。

### 2.4 熵权法-层次分析法(AHP)计算复合评分

**2.4.1 AHP法计算各指标权重系数** AHP是一种主观确定权重的方法,它通过构建层次结构模型,对决策问题进行定性和定量分析,应用yaahp软件,来辅助构建判断矩阵并计算权重<sup>[14]</sup>。本研究运用HPLC测出了大力参中8种人参皂苷的含量,《中国药典》2020年版“人参”项下以人参皂苷Rg<sub>1</sub>、Re、Rb<sub>1</sub>

表4 样品中人参多糖及人参总皂苷的含量测定结果

Table 4 Determination of ginseng polysaccharides and ginseng total saponins in samples

| 样品 | 多糖/%  | 总皂苷/% | 样品  | 多糖/%  | 总皂苷/% |
|----|-------|-------|-----|-------|-------|
| Y  | 11.18 | 2.42  | D9  | 17.55 | 2.37  |
| D1 | 18.11 | 2.45  | D10 | 11.27 | 1.02  |
| D2 | 16.77 | 2.55  | D11 | 12.58 | 2.73  |
| D3 | 12.69 | 2.64  | D12 | 13.14 | 2.61  |
| D4 | 13.42 | 2.88  | D13 | 21.45 | 2.35  |
| D5 | 17.06 | 1.85  | D14 | 19.15 | 4.15  |
| D6 | 14.69 | 2.05  | D15 | 21.26 | 4.25  |
| D7 | 19.96 | 2.75  | D16 | 21.04 | 3.22  |
| D8 | 19.92 | 2.15  | D17 | 20.32 | 2.90  |

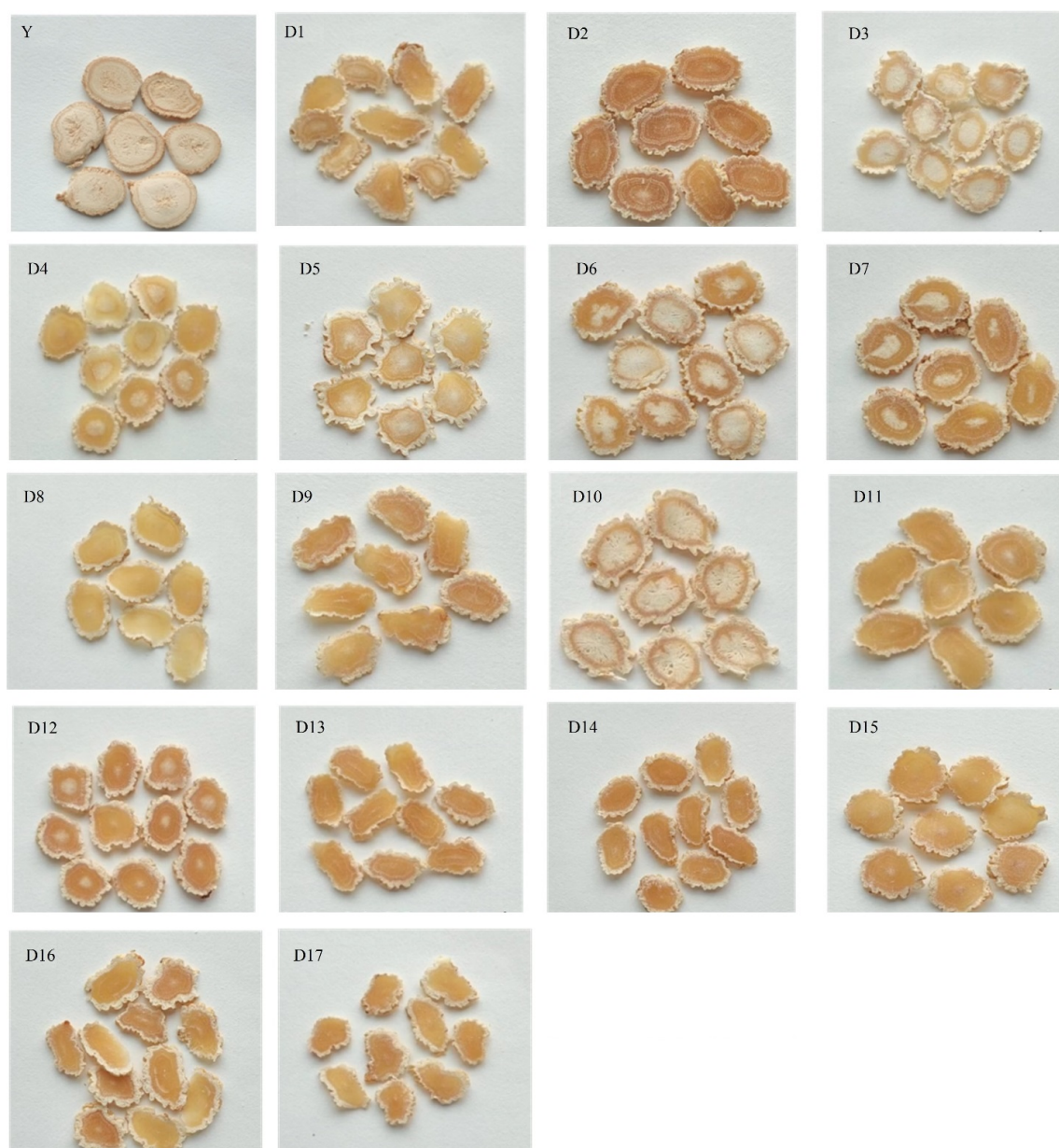


图2 生晒参及大力参饮片图

Fig. 2 Ginseng and Dali ginseng decocting pieces

表5 外观性状评分

Table 5 Appearance trait score sheet

| 外观描述                                      | 评分  |
|-------------------------------------------|-----|
| 外观颜色为白黄色,有抽沟,断面略角质状,内部生心明显,味苦,带土腥味        | 1~3 |
| 外观颜色为淡黄色,有抽沟,断面半角质状,淡棕色,内部略有生心,味苦微甜,略带土腥味 | 4~6 |
| 外观颜色为白色或淡黄色,略有抽沟,断面角质状,棕红色,无生心,味苦微甜,无土腥味  | 7~9 |

为含量测定的主要指标成分,且目前响应面里的17组工艺,都能确保测出这3种皂苷,且含量较高,所以本研究选择了这3种皂苷作为优化炮制工艺的指标。本实验以人参总多糖、人参总皂苷和人参皂苷Rg<sub>1</sub>、Re、Rb<sub>1</sub>的含量和外观性状评分为评价指标,依据大力参指标间的相互作用及其重要程度,排列出各指标的优先顺序:人参多糖>人参总皂苷>人参皂苷Re>人参皂苷Rb<sub>1</sub>>人参皂苷Rg<sub>1</sub>>

外观性状,6种指标构建两两比较的优先矩阵,得到各指标的主观权重( $W_{ji}$ ),计算得到人参总多糖、人参总皂苷、人参皂苷Rg<sub>1</sub>、人参皂苷Re、人参皂苷Rb<sub>1</sub>、外观性状6项指标权重系数分别为0.328 5、0.251 7、0.075 3、0.177 1、0.121 3、0.046 1,见表6。一致性比例因子(CR)=0.044 4<0.10,矩阵通过了一致性检验,表明权重系数是合理且有效的。

表6 指标成对比较的判断优先矩阵

Table 6 Judgement prioritization matrix for pairwise comparison of indicators

| 权重指标                   | 多糖含量 | 总皂苷含量 | 人参皂苷Rg <sub>1</sub> 含量 | 人参皂苷Re含量 | 人参皂苷Rb <sub>1</sub> 含量 | 性状 | $W_{ji}$ |
|------------------------|------|-------|------------------------|----------|------------------------|----|----------|
| 多糖含量                   | 1    | 2     | 4                      | 2        | 3                      | 5  | 0.328 5  |
| 总皂苷含量                  | 1/2  | 1     | 4                      | 2        | 3                      | 4  | 0.251 7  |
| 人参皂苷Rg <sub>1</sub> 含量 | 1/4  | 1/4   | 1                      | 1/3      | 1/3                    | 3  | 0.075 3  |
| 人参皂苷Re含量               | 1/2  | 1/2   | 3                      | 1        | 2                      | 4  | 0.177 1  |
| 人参皂苷Rb <sub>1</sub> 含量 | 1/2  | 1/3   | 3                      | 1/2      | 1                      | 3  | 0.121 3  |
| 外观性状                   | 1/5  | 1/5   | 1/3                    | 1/4      | 1/3                    | 1  | 0.046 1  |

**2.4.2 熵权法确定权重** 熵权法是一种客观赋权方法,通过计算各指标的信息熵来确定其权重。对2.1~2.3项原始数据进行标准化( $Y_{ij}$ ),归一化( $P_{ij}$ ),信息熵( $Q_j$ )计算,最终得到各指标权重( $W_{j2}$ )。

$$Y_{ij} = (X_{ij} - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min})$$

$$P_{ij} = Y_{ij} / \sum_{j=1}^n Y_{ij}, (i=1, \dots, n)$$

$$Q_j = -\ln(n)^{-1} \sum_{i=1}^n P_{ij} \ln P_{ij}$$

$$W_{j2} = (1 - Q_j) / \sum_{j=1}^n (1 - Q_j), (j=1, \dots, m)$$

根据计算得到人参多糖、人参总皂苷、人参皂苷Rg<sub>1</sub>、人参皂苷Re、人参皂苷Rb<sub>1</sub>、外观性状6项指标权重系数分别为0.147 6、0.259 1、0.133 5、0.155 3、0.197 1、0.107 3。

**2.4.3 AHP-熵权法复合权重计算** AHP法更多地依赖于决策者的主观意愿,熵权法侧重于从数据本身提取客观信息<sup>[15]</sup>,将2者结合以取得主观与客观的平衡,是提高决策质量的关键,因此,为克服单一赋权的局限性,应结合主观和客观赋权法,以实现更为均衡和全面的权重分配,按照下方公式计算复合权重( $W_j$ ),人参多糖、人参总皂苷、人参皂苷Rg<sub>1</sub>、

人参皂苷Re、人参皂苷Rb<sub>1</sub>、外观性状6项指标复合权重分别为0.269 2、0.362 0、0.055 8、0.152 7、0.132 8、0.027 5。

$$W_j = W_{j1} W_{j2} / \sum_{j=1}^n W_{j1} W_{j2}$$

**2.4.4 综合评分计算** 按下列公式计算大力参各指标成分的综合评分, $Y_j$ 为各指标含量, $Y_{jmax}$ 为各指标含量最大值。

$$\text{综合评分} = \sum_{i=1}^n W_j Y_j / Y_{jmax}$$

## 2.5 大力参炮制工艺

**2.5.1 Box-Behnken响应面法实验设计** 结合预试验结果,利用Design-Expert.V8.0.6.1软件,以料液比(A)、参根直径(B)和烫制时间(C)为考察因素,按-1、0、1的3水平编码,设计3因素3水平表,见表7。以人参皂苷Rg<sub>1</sub>( $X_1$ )、人参皂苷Re( $X_2$ )、人参皂苷Rb<sub>1</sub>( $X_3$ )、人参多糖( $X_4$ )、人参总皂苷( $X_5$ )的含量和外观性状( $X_6$ )的综合评分为响应值,结果见表8。

**2.5.2 模型拟合** 利用Design-Expert 8.0.6软件对表8所示的实验数据执行多元回归分析以进行曲线

表7 响应面因素水平表

Table 7 Response surface factor level table

| 编号 | 因素                        | 水平      |         |         |
|----|---------------------------|---------|---------|---------|
|    |                           | -1      | 0       | 1       |
| A  | 料液比/(g·mL <sup>-1</sup> ) | 1:8     | 1:10    | 1:12    |
| B  | 参根直径/cm                   | 1.6~2.0 | 2.1~2.5 | 2.6~3.0 |
| C  | 烫制时间/min                  | 7       | 10      | 13      |

拟合(表9),得到多元回归方程为 $Y=80.76-3.20A-13.58B+5.74C+6.01AB-0.46AC+13.59BC-13.27A^2-24.00B^2-25.61C^2$ ,  $R^2=0.9820$ 。方差分析结果表明,得到的二项式拟合模型的 $F$ 值为42.39,且 $P<0.0001$ ,这表明该拟合模型在统计上具有显著性;方程失拟项 $F$ 值为5.47, $P$ 值为0.0671 $>0.05$ ,二次多项式回归模型的拟合度较好,

表8 响应面试验设计与结果

Table 8 Response surface test design and results

| 序号 | A    | B/cm    | C/min | $X_1/\%$ | $X_2/\%$ | $X_3/\%$ | $X_4/\%$ | $X_5/\%$ | $X_6$ | 综合评分  |
|----|------|---------|-------|----------|----------|----------|----------|----------|-------|-------|
| 1  | 1:12 | 2.1~2.5 | 13    | 0.1826   | 0.1600   | 0.2193   | 19.92    | 2.15     | 7     | 49.54 |
| 2  | 1:10 | 2.1~2.5 | 10    | 0.2660   | 0.2924   | 0.3149   | 21.04    | 3.22     | 9     | 83.17 |
| 3  | 1:10 | 2.6~3.0 | 13    | 0.2010   | 0.2455   | 0.2046   | 13.14    | 2.61     | 6     | 32.79 |
| 4  | 1:10 | 2.1~2.5 | 10    | 0.2991   | 0.2606   | 0.2827   | 20.32    | 3.31     | 9     | 77.27 |
| 5  | 1:8  | 2.1~2.5 | 7     | 0.1206   | 0.2082   | 0.1840   | 17.06    | 1.85     | 3     | 33.32 |
| 6  | 1:8  | 2.6~3.0 | 10    | 0.1591   | 0.2716   | 0.1974   | 12.69    | 2.64     | 2     | 29.59 |
| 7  | 1:10 | 2.1~2.5 | 10    | 0.2863   | 0.2829   | 0.3123   | 21.45    | 2.35     | 8     | 79.22 |
| 8  | 1:10 | 2.1~2.5 | 10    | 0.2641   | 0.2265   | 0.2808   | 21.26    | 4.25     | 8     | 79.88 |
| 9  | 1:10 | 1.6~2.0 | 7     | 0.2215   | 0.2766   | 0.2671   | 17.55    | 2.37     | 5     | 56.69 |
| 10 | 1:10 | 2.1~2.5 | 10    | 0.2046   | 0.3326   | 0.3348   | 19.15    | 4.15     | 8     | 84.25 |
| 11 | 1:12 | 2.6~3.0 | 10    | 0.1848   | 0.2781   | 0.1552   | 13.42    | 2.88     | 4     | 31.27 |
| 12 | 1:8  | 1.6~2.0 | 10    | 0.1748   | 0.3832   | 0.2794   | 18.11    | 2.45     | 5     | 67.72 |
| 13 | 1:10 | 1.6~2.0 | 13    | 0.2529   | 0.2697   | 0.1949   | 12.58    | 2.73     | 6     | 33.80 |
| 14 | 1:10 | 2.6~3.0 | 7     | 0.0939   | 0.1780   | 0.1525   | 11.27    | 1.02     | 1     | 1.32  |
| 15 | 1:12 | 2.1~2.5 | 7     | 0.1476   | 0.1936   | 0.2323   | 14.69    | 2.05     | 4     | 31.77 |
| 16 | 1:8  | 2.1~2.5 | 13    | 0.1561   | 0.2516   | 0.1613   | 19.96    | 2.75     | 6     | 52.92 |
| 17 | 1:12 | 1.6~2.0 | 10    | 0.1864   | 0.2506   | 0.2022   | 16.77    | 2.55     | 6     | 45.38 |

表9 回归模型方差分析

Table 9 Regression model ANOVA

| 方差来源           | 偏差平方和   | 自由度 | 均方      | $F$    | $P$     | 显著性 |
|----------------|---------|-----|---------|--------|---------|-----|
| 模型             | 9265.44 | 9   | 1029.49 | 42.39  | <0.0001 | 显著  |
| A              | 81.86   | 1   | 81.86   | 3.37   | 0.109   |     |
| B              | 1474.79 | 1   | 1474.79 | 60.73  | 0.0001  |     |
| C              | 263.93  | 1   | 263.93  | 10.87  | 0.0132  |     |
| AB             | 144.24  | 1   | 144.24  | 5.94   | 0.0449  |     |
| AC             | 0.84    | 1   | 0.84    | 0.034  | 0.858   |     |
| BC             | 738.75  | 1   | 738.75  | 30.42  | 0.0009  |     |
| A <sup>2</sup> | 740.91  | 1   | 740.91  | 30.51  | 0.0009  |     |
| B <sup>2</sup> | 2425.82 | 1   | 2425.82 | 99.89  | <0.0001 |     |
| C <sup>2</sup> | 2760.54 | 1   | 2760.54 | 113.67 | <0.0001 |     |
| 残差             | 169.99  | 7   | 24.28   |        |         |     |
| 失拟项            | 136.68  | 3   | 45.56   | 5.47   | 0.0671  | 不显著 |
| 纯误差            | 33.31   | 4   | 8.33    |        |         |     |
| 总误差            | 9435.43 | 16  |         |        |         |     |

可靠性较高。回归模型中的B、C项的 $P$ 值小于0.01,表明参根直径与烫制时间对工艺影响极显著,BC项 $P$ 值小于0.01,说明参根直径与烫制时间交互作用极显著,AB项 $P$ 值小于0.05,料液比与参根直径交互作用显著,二次项 $A^2$ 、 $B^2$ 、 $C^2$ 的 $P$ 值均小于0.01,有极显著影响。经过综合分析,确定了3个因素在大力参炮制工艺中的影响程度:烫制时间 $>$ 参根直径 $>$ 料液比。

**2.5.3 最佳工艺条件确定及工艺验证** 采用Design-Expert 8.0.6软件,依据所得到的拟合方程,确定了大力参炮制工艺的最优条件,并绘制了因素A、B、C对综合评分影响的响应面图,见图3。以综合评分最大值为优化目标,最优炮制工艺为料液比1:9.62、参根直径2.1~2.5 cm、烫制时间10.11 min。考虑实际操作性,确定工艺条件为:料液比1:10,参根直径2.1~2.5 cm,烫制时间10 min。

工艺验证结果显示,平均综合评分为80.55,与



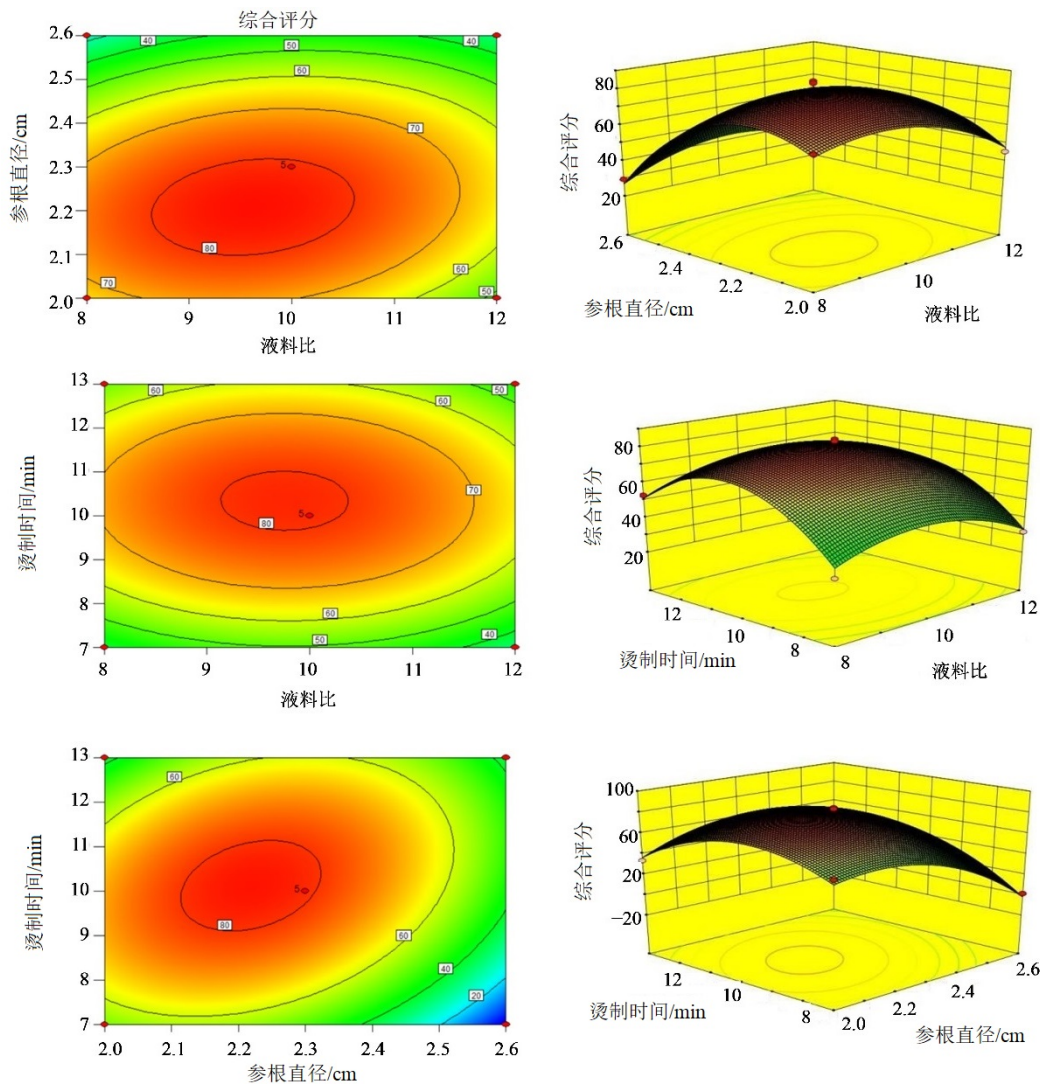


图3 各因素交互作用的等高线图和三维响应面图

Fig. 3 Contour maps and three-dimensional response surface maps of interaction of factors

预测值的相对偏差为1.10%，说明大力参最佳炮制工艺具有一定的稳定性和可行性，见表10。

## 2.6 色度值测定

**2.6.1 测定方法与条件** 应用国际照明委员会(CIE)色度空间系统，观察光源为D65光，观察视野为10°，测定径为4 mm。测定空间为明度值( $L^*$ )、

红绿色( $a^*$ )、黄蓝色( $b^*$ )以及总色度值( $E^*$ )。

$$E^*=(L^{*2}+a^{*2}+b^{*2})^{1/2}$$

**2.6.2 样品色度值测定** 经黑白空白板校正后，依次称取生晒参粉末(Y)，大力参粉末(D1~D17)1 g，均匀平铺于测色板中，依次测定 $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$ 值并记录，计算 $E^*$ ，结果见表11和图4。

表10 工艺验证

Table 10 Process validation

| 批号         | $X_1/\%$ | $X_2/\%$ | $X_3/\%$ | $X_4/\%$ | $X_5/\%$ | $X_6$ | 综合评分  |
|------------|----------|----------|----------|----------|----------|-------|-------|
| 2023091211 | 0.262 5  | 0.278 9  | 0.301 2  | 20.12    | 3.11     | 8     | 81.62 |
| 2023091902 | 0.269 8  | 0.277 6  | 0.294 4  | 19.21    | 3.01     | 8     | 80.48 |
| 2023092203 | 0.266 5  | 0.271 1  | 0.293 1  | 19.54    | 3.05     | 8     | 79.33 |
| 2023092207 | 0.266 1  | 0.273 4  | 0.307 6  | 20.06    | 3.12     | 8     | 81.03 |
| 2023092212 | 0.269 8  | 0.271 8  | 0.294 4  | 19.76    | 2.98     | 8     | 79.69 |
| 2023092403 | 0.262 7  | 0.281 2  | 0.296 5  | 19.65    | 3.04     | 8     | 81.13 |
| RSD/%      | 1.21     | 1.50     | 1.87     | 1.72     | 1.80     | 0.00  | 1.10  |



表11 生晒参及大力参粉末色度值测定结果  
Table 11 Sun-dried ginseng and Dali ginseng measurement results of powder color value

| 编号  | $L^*$ | $a^*$ | $b^*$ | $E^*$ |
|-----|-------|-------|-------|-------|
| Y   | 79.28 | 5.89  | 16.76 | 81.25 |
| D1  | 80.03 | 3.18  | 13.36 | 81.20 |
| D2  | 82.08 | 3.11  | 13.26 | 83.20 |
| D3  | 80.70 | 2.86  | 12.59 | 81.73 |
| D4  | 82.25 | 3.49  | 13.12 | 83.36 |
| D5  | 77.19 | 3.00  | 12.77 | 78.30 |
| D6  | 79.38 | 2.67  | 13.01 | 80.48 |
| D7  | 80.13 | 3.21  | 13.22 | 81.28 |
| D8  | 81.84 | 3.47  | 13.54 | 83.03 |
| D9  | 80.43 | 3.05  | 13.17 | 81.56 |
| D10 | 76.87 | 2.62  | 12.13 | 77.87 |
| D11 | 82.22 | 3.55  | 13.43 | 83.39 |
| D12 | 80.27 | 3.15  | 13.67 | 81.49 |
| D13 | 83.41 | 3.79  | 13.26 | 84.54 |
| D14 | 85.71 | 3.61  | 13.72 | 86.88 |
| D15 | 84.16 | 3.37  | 13.58 | 85.32 |
| D16 | 85.05 | 4.35  | 14.48 | 86.38 |
| D17 | 80.38 | 4.00  | 14.05 | 81.70 |

**2.6.3 相关性分析** 应用SPSS 24.0软件,对色度值与10个成分的含量进行正态性检验,结果表明所有数据均服从正态分布,应用Pearson相关性分析方法,对样品Y、D1~D17粉末的色度值( $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$ 、 $E^*$ )与人参多糖、人参总皂苷及人参皂苷Rg<sub>1</sub>、Re、Rb<sub>1</sub>、Rf、Rc、Rb<sub>2</sub>、Rb<sub>3</sub>、Rd的含量之间的相关性进行分析<sup>[16]</sup>,结果见表12。人参皂苷Rg<sub>1</sub>、Rc、Rb<sub>3</sub>、Rd含量与 $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$ 、 $E^*$ 均呈极显著正相关关系( $P<0.01$ );人参皂苷Rb<sub>1</sub>、人参总皂苷含量与 $L^*$ 、 $b^*$ 、 $E^*$ 呈极显著正相关关系( $P<0.01$ ),与 $a^*$ 呈显著正相关关系( $P<0.05$ );人参皂苷Rf、Rb<sub>2</sub>、人参多糖含量与 $a^*$ 、 $b^*$ 呈极显著正相关关系( $P<0.01$ ),与 $L^*$ 、 $E^*$ 呈显著正相关关系( $P<0.05$ );人参皂苷Re与色度值无相关性。

**2.6.4 统计学分析** (1)聚类分析:利用Hiplot v0.2.3软件进行聚类分析,所得结果见图5。其中横坐标代表各成分含量及色度值,纵坐标代表17组样品,各色块的颜色特征参数反映了相应成分含量的相对变化情况<sup>[16]</sup>。

根据大力参样品中各成分含量及色度值,可分为2类,D1~D12(其他炮制条件)为1类,D13~D17(料液比1:10,参根直径2.1~2.5cm,烫制时间10 min)为



图4 生晒参及大力参样品粉末图  
Fig. 4 Sun-dried ginseng and Dali ginseng samples

第2类,证明17组样品组间有差异,样品分类的结果与外观性状的差异一致,这显示了分类的准确性。

(2)主成分分析与层次聚类分析:特征变量表示的是17组大力参样品的色度值 $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$ 、 $E^*$ 和人参多糖、人参总皂苷及人参皂苷Rg<sub>1</sub>、Rb<sub>1</sub>、Re、Rf、Rc、Rb<sub>2</sub>、Rb<sub>3</sub>、Rd的成分含量的相对变化值,利用

SIMCA14.1软件进行主成分分析(PCA),以平方欧氏距离为测度,进行层次聚类分析,结果见图6~9。

在构建的PCA模型中,数据位于椭圆置信区内。通过自动拟合,模型筛选前3个最重要的主成分用于分析。 $R^2_X$ 和 $Q^2$ 分别为0.844和0.563,均大于0.500,表明预测模型预测良好,可代表样本的大部分信息。由图9可知,大力参炮制样品可聚为2类:

表 12 大力参色度值与内在成分的相关性分析结果  
Table 12 Results of correlation analysis between colorimetric values and intrinsic components of Dali ginseng

| 色度值                  | $L^*$   | $a^*$   | $b^*$   | $E^*$   |
|----------------------|---------|---------|---------|---------|
| 多糖                   | 0.502*  | 0.619** | 0.619** | 0.513*  |
| 总皂苷                  | 0.820** | 0.540*  | 0.649** | 0.823** |
| 人参皂苷 Rg <sub>1</sub> | 0.635** | 0.818** | 0.751** | 0.650** |
| 人参皂苷 Re              | 0.347   | 0.374   | 0.355   | 0.428   |
| 人参皂苷 Rb <sub>1</sub> | 0.640** | 0.590*  | 0.647** | 0.649** |
| 人参皂苷 Rf              | 0.590*  | 0.849** | 0.733** | 0.605*  |
| 人参皂苷 Rc              | 0.629** | 0.711** | 0.731** | 0.641** |
| 人参皂苷 Rb <sub>2</sub> | 0.505*  | 0.730** | 0.705** | 0.521*  |
| 人参皂苷 Rb <sub>3</sub> | 0.613** | 0.744** | 0.757** | 0.627** |
| 人参皂苷 Rd              | 0.683** | 0.761** | 0.684** | 0.693** |

\* $P < 0.05$  \*\* $P < 0.01$ 。

D1~D12 样品聚为一类, D13~D17 样品聚为另一类, 与聚类分析结果一致。

(3)正交偏最小二乘法判别分析(OPLS-DA):为了进一步区分不同炮制工艺的大力参样品间的差异,采用SIMCA14.1在PCA模型基础上进行OPLS-DA分析,得到OPLS-DA得分图、VIP图、置换检验模型验证图,筛选出对样品组间差异有显著影响的特征变量,结果见图10~12。

OPLS-DA 得分图见图10,可以看出17组样品仍被分为2类,结果与聚类分析结果一致,证明两组样品之间存在明显的差异,并且分类结果科学可靠。

构建的 OPLS-DA 模型的参数分别为  $R^2_x = 0.734$ 、 $R^2_y = 0.87$ 、 $Q^2 = 0.532$ ,均大于0.500,验证了所构建模型具有较好的数据解释和预测能力,适用于

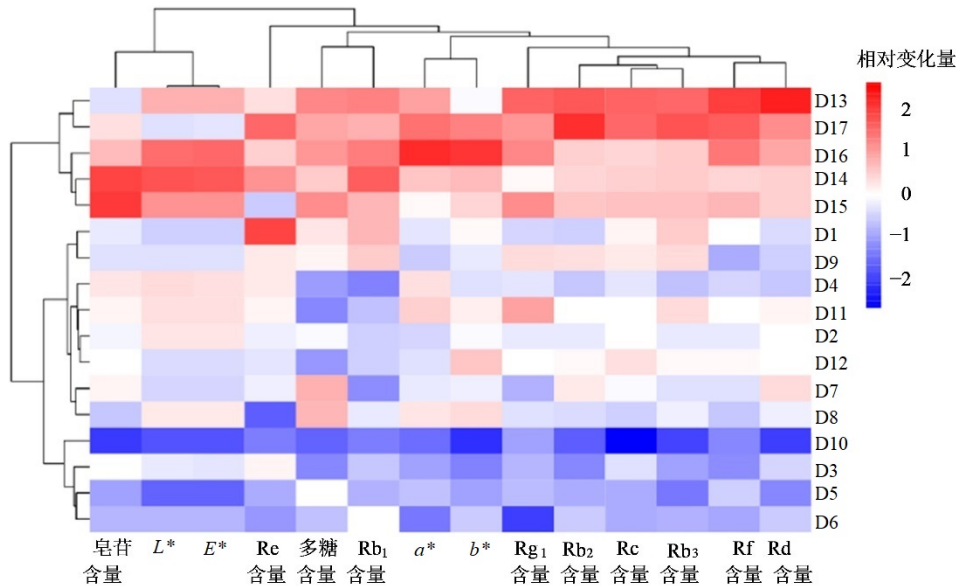
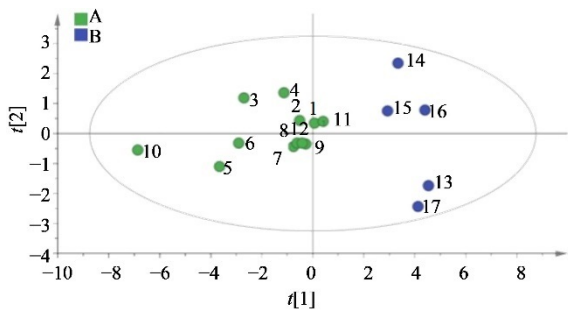


图5 不同炮制工艺大力参样品的聚类分析

Fig. 5 Cluster analysis of Dali ginseng samples with different processes



A-第1类;B-第2类;1~17-D1~D17。

A-class 1; B-class 2; 1-17-D1 to D17.

图6 PCA-X得分图

Fig. 6 PCA-X Score Chart

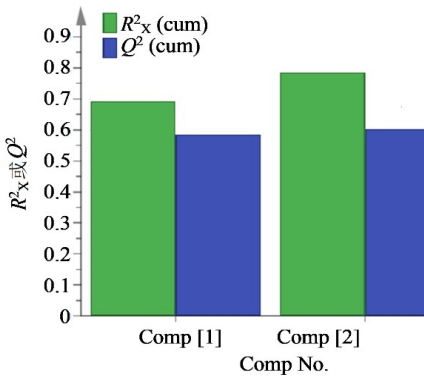
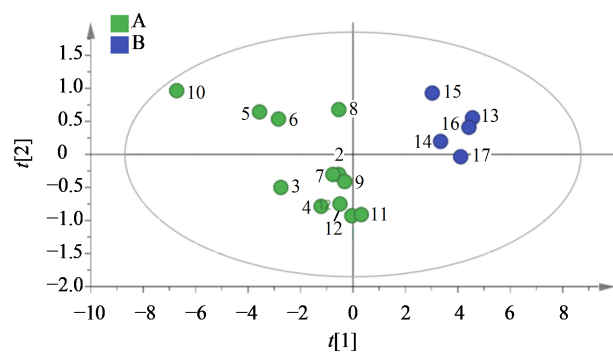


图7 PCA-X模型主成分的 $R^2_x$ 和 $Q^2$

Fig. 7  $R^2_x$  and  $Q^2$  of principal components of PCA-X model



A-第1类;B-第2类;1~17-D1~D17。  
A-class 1; B-class 2; 1-17-D1 to D17.

图8 PLS-DA得分图

Fig. 8 PLS-DA Score Chart

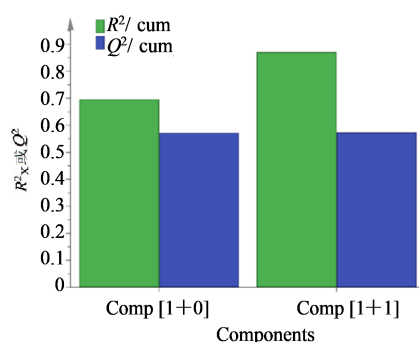
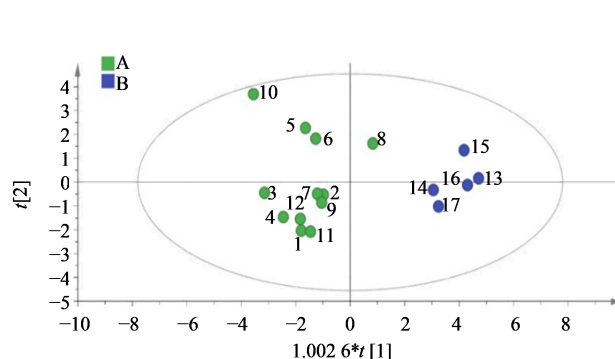


图9 大力参炮制样品HCA图

Fig. 9 HCA chart of Dali ginseng sample



A-第1类;B-第2类;1~17-D1~D17。

A-class 1; B-class 2; 1-17-D1 to D17.

图10 OPLS-DA得分图

Fig. 10 OPLS-DA Score Chart

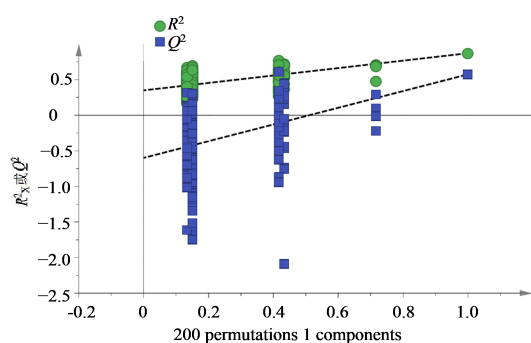


图11 置换检验模型验证图

Fig. 11 Displacement test model validation plot

17组样品的化学计量学分析。为了进一步验证所建立模型的合理性,采用外部模型进行置换检验,以验证模型的有效性,见图11。图中 $R^2$ 和 $Q^2$ 均高于左边所有的点,且大于0.5, $R^2$ 和 $Q^2$ 的回归线斜率均大于1,证明所建立的模型是合理有效的,无过拟合现象<sup>[17]</sup>。

进一步对该模型中指标的变量投影重要性(VIP)进行分析,结果见图12,在95%的置信区间

内,选择VIP值>1的指标作为大力参炮制过程中重要质量指标<sup>[17]</sup>。人参皂苷Rf、Rd、Rb<sub>3</sub>、Rg<sub>1</sub>、Rb<sub>2</sub>、多糖含量、Rb<sub>1</sub>、Rc、 $a^*$ 的VIP值分别为1.112 05、1.074 07、1.071 11、1.061 39、1.035 47、1.031 81、1.031 2、1.027 25、1.000 96均大于1。推测上述成分为大力参炮制过程中的差异性成分,可作为大力参质量评价中相对重要的评价指标。本研究选择VIP>1且排名前3位的指标,结果显示,人参皂苷Rf、Rd、Rb<sub>3</sub>是大力参炮制过程中的重要质量控制指标。

### 3 讨论

本研究采用AHP-熵权法结合响应面设计优选大力参炮制工艺参数,这种方法结合了决策者的主观判断和待评估指标的客观信息,提升了数据的合理性和工艺参数设定的科学性,从而能够更准确地评估大力参炮制工艺的相关参数<sup>[18-21]</sup>。利用响应面法对炮制工艺进行了优化并验证,最终得到的最佳炮制工艺为料液比1:10,参根直径范围为2.1~2.5 cm,烫制时间10 min。在此炮制工艺条件下,平均综合评分



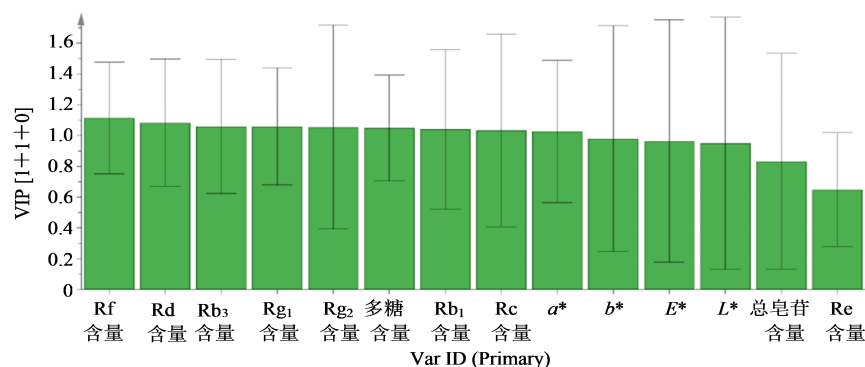


图12 VIP值图

Fig. 12 VIP value chart

为80.5,与预测值的相对偏差为1.10%,说明优化后的大力参炮制工艺稳定、可行。

由含量测定的结果可知,大力参在烫制后其皂苷类成分含量均发生变化,17组不同炮制工艺的大力参中各皂苷含量都高于生晒参。有研究者发现,生晒参中的丙二酰基酸性皂苷在酸性和高温条件下脱去丙二酰基,生成其对应的皂苷,与烫制后含量升高结果相符<sup>[22-23]</sup>。

在炮制过程中,颜色是判断炮制火候的重要指标,也是判断炮制终点的依据之一<sup>[22]</sup>。本实验基于“辨状论质”的理论<sup>[24-25]</sup>,以“外在性状、内在质量”评价不同炮制工艺对大力参质量的影响,通过色度值 $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$ 来推断大力参中皂苷类成分的变化,并结合多个统计学方法完成对不同大力参样品质量的分类,来评估内在化学成分的含量,发现在炮制过程中,大力参样品的粉末颜色与各种成分含量之间具有显著的相关性,可用色度值评价大力参的内在质量<sup>[26-28]</sup>,为大力参工艺优化与质量控制提供了客观、量化的依据。

本研究因检测方法的限制,未能检测出其他稀有皂苷,因此对大力参在烫制过程中的皂苷类成分转化的研究仍存在不足,不够全面。对于大力参炮制过程中的总体性成分变化,后续还需采用其他方法进一步探究。

**利益冲突** 所有作者均声明不存在利益冲突

#### 参考文献

- [1] (魏)吴普等述, (清)孙星衍, (清)孙冯翼辑, 曹瑛校注. 神农本草经 [M]. 北京: 中国医药科技出版社, 2020.  
(Wei) Wu P, (Qing) Sun X Y, (Qing) Sun F Y, annotated by Cao Y. *Shennong Bencao Jing* [M] Beijing: China Medical Science and Technology Press, 2020.
- [2] 中国药典 [S]. 一部. 2020.

Pharmacopoeia of the People's Republic of China [S]. Volume I. 2020.

- [3] Liu H B, Lu X Y, Hu Y, et al. Chemical constituents of *Panax ginseng* and *Panax notoginseng* explain why they differ in therapeutic efficacy [J]. *Pharmacol Res*, 2020, 161: 105263.
- [4] 吴恒梅, 慕雪, 吴玉德. 人参多糖的提取工艺及生物活性研究进展 [J]. *农业与技术*, 2023, 43(14): 27-29.  
Wu H M, Mu X, Wu Y D. Research progress on extraction technology and biological activity of ginseng polysaccharide [J]. *Agric Technol*, 2023, 43(14): 27-29.
- [5] 卢增辉, 郑清烟, 张雪, 等. 人参调控神经递质代谢的研究进展 [J]. *中草药*, 2023, 54(21): 7260-7272.  
Lu Z H, Zheng Q Y, Zhang X, et al. Research progress on *Ginseng Radix et Rhizoma* in regulation of neurotransmitter metabolism [J]. *Chin Tradit Herb Drugs*, 2023, 54(21): 7260-7272.
- [6] 刘家桃, 司永国, 汪云, 等. 黄芪多糖、人参多糖和辣木粉对凡纳滨对虾及其后代免疫功能和抗氧化能力的影响 [J]. *动物营养学报*, 2023, 35(6): 3888-3901.  
Liu J T, Si Y G, Wang Y, et al. Effects of Astragalus polysaccharides, ginseng polysaccharides and Moringa oleifera powder on immune function and antioxidant capacity of *litopenaeus vannamei* and its offspring [J]. *Chin J Anim Nutr*, 2023, 35(6): 3888-3901.
- [7] 王佳. 人参多糖抗疲劳和抗抑郁作用及其机制的研究 [D]. 长春: 东北师范大学, 2010.  
Wang J. Study on anti-fatigue and anti-depression effects of ginseng polysaccharide and its mechanism [D]. Changchun: Northeast Normal University, 2010.
- [8] Cha J Y, Park E Y, Kim H J, et al. Effect of white, taeyeuk, and red ginseng root extracts on insulin-stimulated glucose uptake in muscle cells and proliferation of  $\beta$ -cells [J]. *J Ginseng Res*, 2010, 34(3): 192-197.
- [9] Bao L, Cai X X, Wang J B, et al. Anti-fatigue effects of

- small molecule oligopeptides isolated from *Panax ginseng* C. A. Meyer in mice [J]. *Nutrients*, 2016, 8 (12): 807.
- [10] 孙卫东, 刘倡. 古法红参、大力参、糖参加工炮制方法 [J]. *人参研究*, 2018, 30(5): 57-59.
- Sun W D, Liu C. Proces method of ginseng *Radix Rubri, Ginseng Radix Polygalae* and sugar ginseng by traditional method [J]. *Ginseng Res*, 2018, 30(5): 57-59.
- [11] (宋)徐兢撰. 宣和奉使高丽图经-下 [M]. 北京: 文物出版社, 2022.
- (Song) Xu J. *Xuanhe Fengshi Goryeo Tujing Xia* [M] Beijing: Cultural Relics Publishing House, 2022.
- [12] (清)冯兆张. 冯氏锦囊秘录 [M]. 北京: 人民卫生出版社, 2002.
- (Qing) Feng Z Z. *Feng's Treasure Collection* [M] Beijing: People's Medical Publishing House, 2002.
- [13] 陈晶, 王炳然, 张淼, 等. 基于Box-Behnken响应面法结合层次分析法-熵权法优化米炒人参炮制工艺 [J]. *时珍国医国药*, 2023, 34(6): 1384-1388.
- Chen J, Wang B R, Zhang M, et al. Optimization of processing technology of rice fried ginseng based on Box Behnken response surface method and analytic hierarchy process combined with entropy method [J]. *Lishizhen Med Mater Med Res*, 2023, 34(6): 1384-1388.
- [14] 陈晶. 米炒人参炮制工艺及主要成分变化规律研究 [D]. 长春: 长春中医药大学, 2023.
- Chen J. Study on the processing technology and the change law of main components of rice fried ginseng [D]. Changchun: Changchun University of Chinese Medicine, 2023.
- [15] 杨昌澎. 县域科技创新产业培育平台发展研究: 以河南省科学院沁阳科创园为例 [D]. 郑州: 河南农业大学, 2023.
- Yang C P. Research on the development of county science and technology innovation industry cultivation platform—Taking Qinyang science and technology innovation park of Henan academy of sciences as an example [D]. Zhengzhou: Henan Agricultural University, 2023.
- [16] 蒋常鹏. 黑参炮制关键技术及体外抗氧化活性研究 [D]. 长春: 长春中医药大学, 2022.
- Jiang C P. Study on key processing technology and antioxidant activity of black ginseng *in vitro* [D]. Changchun: Changchun University of Chinese Medicine, 2022.
- [17] 李佳奇, 李克强, 黄宝泰, 等. 人参微波炮制过程中皂苷成分与色度值动态变化规律分析 [J]. *时珍国医国药*, 2022, 33(9): 2162-2167.
- Li J Q, Li K Q, Huang B T, et al. Analysis on the dynamic variation of saponins and color value in the process of ginseng microwave processing [J]. *Lishizhen Med Mater Med Res*, 2022, 33(9): 2162-2167.
- [18] 杨琳琳, 辛洁萍, 李千, 等. 乌梅炭炮制过程中颜色与内在质量的相关性及其炮制终点研究 [J]. *中国药房*, 2023, 34(3): 289-293.
- Yang L L, Xin J P, Li Q, et al. Study on the correlation between color and inner quality during the processing of *Prunus mume carbon* and its processing end point [J]. *China Pharm*, 2023, 34(3): 289-293.
- [19] 王继龙, 魏舒畅, 刘永琦, 等. 基于G1-熵权法和正交设计优选黄芪百合颗粒的提取纯化工艺 [J]. *中草药*, 2018, 49(3): 596-603.
- Wang J L, Wei S C, Liu Y Q, et al. Optimization of extraction and purification technology for Huangqi Baihe Granules based on G1-entropy method and orthogonal design [J]. *Chin Tradit Herb Drugs*, 2018, 49(3): 596-603.
- [20] 石双慧, 王梦琳, 魏晓彤, 等. AHP-熵权法结合Box-Behnken设计-响应面法优选黄精酒制工艺及其炮制前后药效对比研究 [J]. *中草药*, 2023, 54 (14): 4467-4480.
- Shi S H, Wang M L, Wei X T, et al. Optimization of processing technology of wine-processed *Polygonati Rhizoma* by combination of Box-Behnken design-response surface method and AHP-entropy weight method and comparison of efficacy before and after processing [J]. *Chin Tradit Herb Drugs*, 2023, 54(14): 4467-4480.
- [21] 周晶晶, 周洁, 窦霞, 等. AHP-熵权法结合Box-Behnken设计-响应面法优选党参精准煮散工艺 [J]. *中国中医药信息杂志*, 2024, 31(1): 135-141.
- Zhou J J, Zhou J, Dou X, et al. Optimal precision decocting process of *Codonopsis Radix* through combination of AHP-entropy weight method and box-behnken design-response surface method [J]. *Chin J Inf Tradit Chin Med*, 2024, 31(1): 135-141.
- [22] 黄宝泰. 西洋参蒸制前后皂苷类成分变化和心肌损伤保护作用研究 [D]. 长春: 长春中医药大学, 2023.
- Huang B T. Changes of saponins in *Panax quinquefolium* before and after steaming and its Protective Effect on Myocardial Injury [D]. Changchun: Changchun University of Chinese Medicine, 2023.
- [23] 屈文佳, 贾天颖, 王海丽, 等. 不同蒸制时间下红参颜色及3种常见人参皂苷的转化规律研究 [J]. *北京中医药大学学报*, 2020, 43(9): 769-775.
- Qu W J, Jia T Y, Wang H L, et al. Study on change in color and contents of three common ginsenosides of Hongshen steamed for different durations [J]. *J Beijing Univ Tradit Chin Med*, 2020, 43(9): 769-775.

- [24] 曹萱, 张雨恬, 伍振峰, 等. 基于"辨状论质"理论对中药炮制火候的科学内涵研究 [J]. 中国中药杂志, 2024, 49(5): 1196-1205.
- Cao X, Zhang Y T, Wu Z F, et al. Scientific connotation of temperature control in processing of Chinese medicinal materials based on theory of quality evaluation through morphological identification [J]. China J Chin Mater Med, 2024, 49(5): 1196-1205.
- [25] 李佳园, 魏晓嘉, 万国慧, 等. "辨状论质"的历史沿革与现代研究进展 [J]. 中国实验方剂学杂志, 2021, 27(6): 189-196.
- Li J Y, Wei X J, Wan G H, et al. Historical evolution and modern research progress of quality evaluation based on character identification of traditional Chinese medicinal materials [J]. Chin J Exp Tradit Med Form, 2021, 27(6): 189-196.
- [26] 屈文佳, 贾天颖, 王海丽, 等. 不同蒸制时间下红参颜色及3种常见人参皂苷的转化规律研究 [J]. 北京中医药大学学报, 2020, 43(9): 769-775.
- Qu W J, Jia T Y, Wang H L, et al. Study on change in color and contents of three common ginsenosides of Hongshen steamed for different durations [J]. J Beijing Univ Tradit Chin Med, 2020, 43(9): 769-775.
- [27] 岳春雨, 陈迎迎, 王丽霞, 等. 炒桑白皮炮制过程中色谱及色度值的变化规律研究 [J]. 中国中药杂志, 2024, 49(7): 1865-1871.
- Yue C Y, Chen Y Y, Wang L X, et al. Changes in fingerprint and chromaticity values of *Mori Cortex* during stir-frying process [J]. China J Chin Mater Med, 2024, 49(7): 1865-1871.
- [28] 程钰洁, 邱彩月, 洪婉敏, 等. 车前子及其炮制品色度值、UPLC指纹图谱及体外抗氧化活性的差异研究 [J]. 中草药, 2023, 54(20): 6657-6670.
- Cheng Y J, Qiu C Y, Hong W M, et al. Comparative study on chromaticity value, UPLC fingerprint and antioxidant activity *in vitro* of *Plantaginis Semen* and its different processed products [J]. Chin Tradit Herb Drugs, 2023, 54(20): 6657-6670.

【责任编辑 兰新新】