

基于“表里关联”的酒柴胡炮制工艺优化及颜色与质量关联性分析

郑长辉¹, 马丽娜^{2*}, 何 婷², 顾媛媛², 赵 薇², 汪红斌², 牛源菲¹, 富 尧³, 曹俊岭^{2*}

1. 北京中医药大学中药学院, 北京 100029

2. 北京中医药大学东方医院, 北京 100078

3. 北京中医药大学东直门医院, 北京 100700

摘要: 目的 优选酒柴胡炮制工艺, 探究柴胡酒炙过程中外观颜色与有效成分动态变化关联性, 为酒柴胡的规范化生产提供参考依据。方法 以外观性状、柴胡皂苷 a (saikosaponin a, SSa)、柴胡皂苷 b₁ (saikosaponin b₁, SSb₁)、柴胡皂苷 b₂ (saikosaponin b₂, SSb₂)、柴胡皂苷 c (saikosaponin c, SSa)、柴胡皂苷 d (saikosaponin d, SSd)、醇溶性浸出物含量为评价指标, 对炮制过程中的闷润时间、黄酒用量、炮制温度、炮制时间进行考察, 采用 AHP-CRITIC 综合赋权法确定各评价指标权重系数, 联合单因素实验与 Box-Behnken 设计-响应面法 (Box-Behnken design-response surface method, BBD-RSM) 优选酒柴胡最佳炮制工艺。采用电子眼测定柴胡酒炙后的色度值, 运用 SPSS AU 软件进行指标成分含量与色度值的相关分析。

结果 AHP-CRITIC 综合赋权法确定外观性状、SSa、SSb₁、SSb₂、SSc、SSd、醇溶性浸出物的综合权重系数分别为 0.574 7、0.084 3、0.079 1、0.083 5、0.041 2、0.086 7、0.050 6, 响应面法优化酒柴胡最佳炮制工艺是黄酒用量为 22%, 炒制温度为 140 ℃, 炒制时间为 14 min。回归分析可知, 色度值可在一定程度上预测柴胡皂苷含量; L^* 越高, a^* 、 b^* 值越低, SSa、SSc、SSd 的含量越高, SSb₁、SSb₂ 含量越低。**结论** 优选的酒柴胡炮制工艺科学合理、简单可行, 炮制过程中化学成分的变化与颜色具有显著相关性, 可为柴胡酒炙工艺终点量化、化学成分的动态检测及质量评价提供参考。

关键词: 柴胡; 酒炙工艺优化; AHP-CRITIC 法; 响应面法; 电子眼; 柴胡皂苷

中图分类号: R283.6 文献标志码: A 文章编号: 0253-2670(2025)20-7344-11

DOI: 10.7501/j.issn.0253-2670.2025.20.008

Optimization of processing technology of wine-fried *Bupleuri Radix* based on “exterior-interior correlation” and correlation analysis of color and quality

ZHENG Changhui¹, MA Lina², HE Ting², GU Yuanyuan², ZHAO Wei², WANG Hongbin², NIU Yuanfei¹, FU Yao³, CAO Junling²

1. School of Chinese Materia Medica, Beijing University of Chinese Medicine, Beijing 100029, China

2. Dongfang Hospital of Beijing University of Chinese Medicine, Beijing 100078, China

3. Dongzhimen Hospital of Beijing University of Chinese Medicine, Beijing 100700, China

Abstract: Objective To optimize the processing technology of wine-fried Chaihu (*Bupleuri Radix*), and to explore the correlation between the appearance color and the dynamic change of active ingredients in the process of wine-fried *Bupleuri Radix*, so as to provide reference for the standardized production of wine-fried *Bupleuri Radix*. **Methods** The appearance, saikosaponin a (SSa), saikosaponin b₁ (SSb₁), saikosaponin b₂ (SSb₂), saikosaponin c (SSc), saikosaponin d (SSd) and alcohol extract were used as evaluation indexes to investigate the moistening time, yellow rice wine dosage, processing temperature and processing time in the processing process. The AHP-CRITIC comprehensive weighting method was used to determine the weight coefficient of each evaluation index. The single factor experiment and Box-Behnken design-response surface method (BBD-RSM) were used to optimize the best processing

收稿日期: 2025-05-15

基金项目: 国家中医药管理局司便函 (国中医药科技中药便函[2022]59 号); 国家中医药管理局科技司项目 (GZY-KJS-2022-057); 中央高校基本科研业务费专项 (2023-JYB-KYPT-18); 中央高水平中医医院临床科研业务费资助 (DFRCGC-2024YXRC-001); 曹俊岭全国老药工传承工作室建设项目 (国中医药人教函 2024-255); 曹俊岭临方炮制中医药传统技能传承工作室 (2025-JNZS-13)

作者简介: 郑长辉, 硕士研究生, 研究方向为中药质量与药理研究。E-mail: 18865492900@163.com

***通信作者:** 马丽娜, 博士, 副主任药师, 研究方向为中药质量与药理研究。E-mail: malina8512@163.com

曹俊岭, 博士, 主任药师, 研究方向为中药质量与医院药学研究。E-mail: caojunling72@163.com

technology of *Bupleuri Radix*. The electronic eye was used to determine the color value of *Bupleuri Radix* after stir-frying with wine, and SPSS AU software was used to analyze the correlation between the content of index components and the chroma value. **Results** The comprehensive weight coefficients of appearance traits, SSa, SSb₁, SSb₂, SSc, SSd and alcohol extract were determined by AHP-CRITIC comprehensive weighting method to be 0.574 7, 0.084 3, 0.079 1, 0.083 5, 0.041 2, 0.086 7 and 0.050 6, respectively. The optimal processing technology of wine-fried *Bupleuri Radix* optimized by response surface method was that the amount of yellow wine was 22%, the frying temperature was 140 °C, and the frying time was 14 min. Regression analysis showed that the color value could predict the content of saikosaponin to a certain extent. The higher the L^* , the lower the a^* and b^* values, the higher the content of SSa, SSc, SSd, and the lower the content of SSb₁, SSb₂. **Conclusion** The optimized processing technology of wine-fried *Bupleuri Radix* is scientific, reasonable, simple and feasible. The change of chemical components in the processing process has a significant correlation with the color, which can provide reference for the end point quantification, dynamic detection of chemical components and quality evaluation of wine-fried *Bupleuri Radix* technology.

Key words: *Bupleuri Radix*; optimization of wine-fried processing technology; AHP-CRITIC; response surface methodology; electronic eye; saikosaponin

柴胡为伞形科柴胡属植物柴胡 *Bupleurum chinense* DC.或狭叶柴胡 *B. scorzonifolium* Willd. 的干燥根^[1]。其性辛、味苦，微寒，具解表退热、疏肝解郁、升举阳气之功，可用于感冒发热、寒热往来、肝郁气滞、胸肋胀痛、脱肛、子宫脱垂、月经不调等症^[2]。柴胡液体辅料炮制法有醋制、蜜制、酒制、鳖血制等^[3]，以酒制沿用最久，具有通利血脉、抵御寒气以及助推药势作用^[4]。借酒升提之力，酒柴胡引药上行，可清抑郁之气与血虚之热，行血通经作用增强，常用于肢体活动不利、风湿痹痛等症状^[5]。明《本草蒙筌》载：“疗病上升，用根酒渍”。清《本草述钩元》曰：“上升用根，酒渍。内伤升气，酒炒三遍”。诸多医学典籍中均可见酒柴胡临床应用，如《良朋汇集经验神方》中载逍遥散、血崩第一方，《医方简义》载柴胡生化汤及《临症验舌法》载泻火清肝饮等均用酒柴胡。然而，酒柴胡的炮制工艺在历代典籍中均未见详细记载，各地炮制规范亦存在差异，极大阻碍了酒柴胡在临床的推广应用。柴胡酒制方法早见元《丹溪心法》：“用酒拌”；明《医学入门》：“酒炒三遍”；清《女科要旨》：“酒拌烘”。酒柴胡虽未被现代《中国药典》2025 年版收录，但在河南、陕西和湖北等地方炮制规范中均有记载。如福建省炮制规范载：“北柴胡，照酒炙法（附录 I）炒干。每 100 kg 北柴胡，用黄酒 12 kg”。各地炮制规范在辅料用量、炮制火力和炮制时间等关键工艺记载模糊或存在差异，使各地区酒柴胡饮片质量参差不齐，难以保证临床用药安全有效，亟需系统、深入地研究柴胡酒制工艺，生产质量稳定可控的酒柴胡饮片^[6-7]。

因此，本研究基于“表里关联”思路^[8-11]，构建了基于“外观性状-有效成分”关联分析的酒炙柴胡

工艺优化方法，首先以外观评分量化炮制过程的颜色与气味等外观性状特征变化，同时在《中国药典》2025 年版指标性成分柴胡皂苷 a（saikosaponin a, SSa）、柴胡皂苷 d（saikosaponin d, SSd）基础上，增加预实验发现对炮制温度、炮制时间敏感的柴胡皂苷 b₁（saikosaponin b₁, SSb₁）、柴胡皂苷 b₂（saikosaponin b₂, SSb₂）、柴胡皂苷 c（saikosaponin c, SSc），最后辅以醇溶性浸出物评估整体成分情况，以多层次、全方位对柴胡酒炙工艺进行质控。首先采用单因素法明确影响酒柴胡的关键炮制因素，再采用层次分析法（analytic hierarchy process, AHP）-CRITIC 法结合 Box-Behnken 设计-响应面法（Box-Behnken design-response surface method, BBD-RSM）优选柴胡酒炙工艺参数并进行验证，最后对柴胡酒炙过程中颜色变化与化学成分之间相关性进行分析^[12-13]，以期柴胡酒炙工艺终点量化、炮制工艺参数标准化、数字化提供参考依据。

1 仪器与材料

1.1 仪器

KQ-250DB 型数控超声仪，昆山市超声仪器有限公司；AG135、XS105DU 型电子分析天平，梅特勒-托利多仪器（上海）有限公司；HW.SY21-KP8 型恒温水浴锅，北京长风仪器仪表公司；DGG-101 型电热鼓风干燥箱，天津天宇机电有限公司；Agilent 1260 高效液相色谱仪，美国 Agilent 公司；MS-5 型炒货机，常州迈斯机械有限公司；VA400 型 IRIS 电子眼，法国 ALPHAM.O.S 公司。

1.2 饮片、对照品与试剂

柴胡饮片，批号 20240716，北京本草方源药业集团有限公司，经北京中医药大学东方医院汪红斌主管药师鉴定为伞形科柴胡属植物柴胡 *B. chinense*

DC.的干燥根;黄酒,批号 20240522,酒精度 $\geq 15.5\%$ vol, 会稽山绍兴酒股份有限公司;SSa、SSb₁、SSb₂、SSc、SSd 对照品,批号 MUST-23091410、MUST-23050303、MUST-23042103、MUST-23070517、MUST-23091411,质量分数均 $\geq 98.0\%$,成都曼思特生物科技有限公司;娃哈哈纯净水,批号 20240307,杭州娃哈哈集团有限公司;氨水,分析纯,批号 C15865127,上海麦克林生化科技股份有限公司;甲醇、乙腈,批号 F24O7M205、204128,色谱纯,美国 Fisher Chemical 公司。

2 方法与结果

2.1 酒柴胡的制备

取柴胡饮片 100 g, 参照《中国药典》2025 年版四部炮制通则中酒炙法制备: 加黄酒拌匀, 闷透, 置炒制容器内, 炒至外表皮黑褐色或棕褐色, 切面淡棕黄色, 具有酒香气, 取出, 放凉, 即得。

2.2 外观性状评价

根据福建省中药饮片炮制规范、湖北省中药饮片炮制规范、河南省中药饮片炮制规范等地方炮制法规(表 1) 及已有文献研究中对酒柴胡外观性状描述, 以外观颜色和气味为标准进行量化赋分, 评分标准见表 2。

2.3 HPLC 测定指标性成分

2.3.1 供试品溶液的制备 取样品打粉, 过 4 号筛, 取 0.5 g, 精密称定, 置于具塞锥形瓶中, 精密加入浓氨试液-甲醇(1:19) 混合溶液 25 mL, 200 W、40 kHz 超声 30 min, 滤过, 甲醇 20 mL 分 2 次洗涤容器及药渣, 合并洗液与滤液, 回收溶剂。残渣加甲醇溶解, 定容至 5 mL, 0.22 μ m 滤膜滤过, 取续滤液, 即得供试品溶液, 备用。

2.3.2 混合对照品溶液的制备 精密称定 5 种柴胡皂苷 SSa、SSb₁、SSb₂、SSc、SSd 对照品适量, 甲

表 1 不同地方酒柴胡炮制方法记载

Table 1 Records of processing methods of wine-fried *Bupleuri Radix* in different places

来源	炮制方法
《河南省中药饮片炮制规范》	取柴胡片, 照酒炙法(炮制通则)炒至黄色。每100 千克柴胡片用黄酒12 kg
《陕西省中药饮片标准》	取饮片柴胡, 照酒炙法(附录I)炒干
《湖北省中药饮片炮制规范》	取净柴胡片, 加入定量的黄酒拌匀, 闷润至酒被吸尽, 置炒制容器内, 用文火加热, 炒干, 取出晾凉。每100 千克柴胡, 用黄酒10 kg
《福建省中药饮片炮制规范》	取北柴胡, 洗净, 润透, 切段, 干燥, 照酒炙法(附录I)炒干。每100 千克北柴胡, 用黄酒12 kg

表 2 酒柴胡外观性状评分

Table 2 Scoring table for appearance characteristics of wine-fried *Bupleuri Radix*

外观性状	评分
有酒香气, 表面黑褐色或棕褐色, 切面淡棕黄色	5
酒香气较淡, 表面浅棕色, 切面淡黄色	3
无酒香气, 具有焦味, 表面焦褐色, 切面棕黄色或表面淡棕黄色, 切面黄白色	1

醇定容, 摇匀, 配成质量浓度分别为 0.606、0.446、0.458、0.300、0.658 mg/mL 的混合对照品储备液。

2.3.3 色谱条件 色谱柱为 Zorbax Eclipse Plus C₁₈ 柱(250 mm $\times$ 4.6 mm, 5 μ m); 流动相为水-乙腈, 梯度洗脱: 0~40 min, 30%~53%乙腈; 40~48 min, 53%~98%乙腈; 体积流量 1 mL/min; 检测波长 210、254 nm; 柱温 25 $^{\circ}$ C; 进样量 10 μ L。对照品及样品色谱图见图 1。

2.3.4 线性关系考察 精密吸取“2.3.2”项下混合对照品储备液, 倍比稀释制备系列混合对照品溶液,

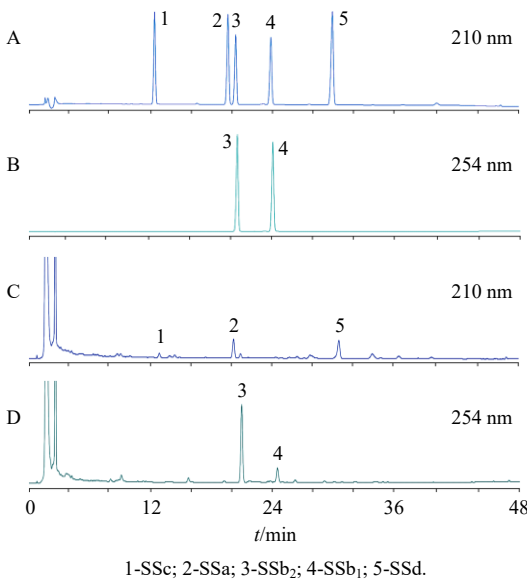


图 1 柴胡皂苷混合对照品 (A、B) 及柴胡样品 (C、D) 的 HPLC 图

Fig. 1 HPLC of saikosaponin mixed reference substances (A, B) and *Bupleuri Radix* samples (C, D)

按照“2.3.3”项下色谱条件进样测定，以峰面积平均值 (Y) 对质量浓度 (X) 进行线性回归，计算回归方程分别为 SSa $Y=3.398 X-1.485 9$, $r=0.999 7$, 线性范围 30.30~1 212.00 $\mu\text{g/mL}$; SSb₁ $Y=18.277 X+1.576 2$, $r=0.999 8$, 线性范围 1.12~446.00 $\mu\text{g/mL}$; SSb₂ $Y=18.814 X+8.623 4$, $r=0.999 5$, 线性范围 1.15~458.00 $\mu\text{g/mL}$; SSs $Y=3.494 5 X-8.018 5$, $r=0.999 6$, 线性范围 15.00~600.00 $\mu\text{g/mL}$; SSd $Y=3.756 2 X-2.646 6$, $r=0.999 7$, 线性范围 32.90~1 316.00 $\mu\text{g/mL}$; 结果表明，各成分在各自质量浓度范围内线性关系良好。

2.3.5 精密度考察 取混合对照品溶液，按照“2.3.3”项下色谱条件进样分析，连续测定 6 次，记录 5 种柴胡皂苷 SSa、SSb₁、SSb₂、SSc、SSd 的峰面积，计算其 RSD 分别为 0.12%、0.13%、0.13%、0.28%、0.11%，表明该仪器精密度良好。

2.3.6 稳定性考察 精密称定单因素考察中炒制温度 120 $^{\circ}\text{C}$ 的酒柴胡粉末适量，按照“2.3.1”项下方法制备供试品溶液，按照“2.3.3”项下色谱条件分别于制备后 0、4、8、12、16、20、24 h 进样测定，记录 5 种柴胡皂苷 SSa、SSb₁、SSb₂、SSc、SSd 的峰面积，计算其 RSD 分别为 0.59%、0.51%、0.70%、1.20%、0.62%，结果表明供试品溶液在 24 h 内稳定性良好。

2.3.7 重复性考察 精密称定单因素考察中炒制温度 120 $^{\circ}\text{C}$ 的酒柴胡粉末适量，共 6 份，按照“2.3.1”项下方法制备供试品溶液，按照“2.3.3”项下色谱条件进样测定，记录 5 种柴胡皂苷 SSa、SSb₁、SSb₂、SSc、SSd 的峰面积，计算其质量分数的 RSD 分别为 2.27%、2.68%、2.60%、2.32%、2.68%，表明该方法重复性良好。

2.3.8 加样回收率考察 取已测知 5 种柴胡皂苷含量的单因素考察中炒制温度 120 $^{\circ}\text{C}$ 的酒柴胡样品，精密称定，根据样品中 5 种柴胡皂苷的含量，按照 1:1 的比例加入 5 种柴胡皂苷对照品，按照“2.3.1”项下方法操作，制备 6 份供试品溶液，按照“2.3.3”项下色谱条件测定，结果 5 种柴胡皂苷 SSa、SSb₁、SSb₂、SSc、SSd 的平均加样回收率分别为 103.88%、97.57%、97.28%、100.73%、101.57%，RSD 分别为 2.02%、2.45%、1.87%、1.46%、1.59%，表明该方法回收率良好，符合分析要求，提示该方法可用于 5 种柴胡皂苷的含量测定。

2.3.9 样品测定 精密称取不同柴胡酒炙品粉末，

按照“2.3.1”项下方法制备供试品溶液，按照“2.3.3”项下色谱条件测定各样品中 5 种柴胡皂苷 SSa、SSb₁、SSb₂、SSc、SSd 的含量。

2.4 浸出物测定

参照《中国药典》2025 年版浸出物测定法（通则 2201）中的热浸法，测定醇溶性浸出物含量。

2.5 指标成分权重系数计算方法选择

2.5.1 AHP 法确定指标成分主观权重系数 (ω_i) 以外观性状与内在质量 2 类指标建立层次结构模型。根据指标重要程度，对酒柴胡的外观性状、5 种柴胡皂苷 (SSa、SSb₁、SSb₂、SSc、SSd) 含量、醇溶性浸出物含量予以量化。柴胡饮片在不同炒制温度、炒制时间，外观性状差异较大，设为第 1 层次；SSa、SSd 是柴胡皂苷类成分代表且含量较大，设为第 2 层次；有研究表明，SSb₁、SSb₂ 含量可能与炒制过程中 SSa、SSd 的转化有关，同炒制温度、炒制时间关系密切，设为第 3 层次；SSc 在柴胡皂苷类成分中含量相对较低，同时在炒制过程中柴胡饮片的醇溶性浸出物含量变化差异较小，故将二者同设为第 4 层次。指标性成分优先顺序为外观性状>SSa=SSd>SSb₁=SSb₂>SSc=醇溶性浸出物，以 YAAHP 12.1 层次分析软件对各项指标进行重要性比较，并构建优先判断矩阵，结果见表 3。外观性状、SSa、SSb₁、SSb₂、SSc、SSd 及醇溶性浸出物的 ω_i 分别为 0.465 8、0.138 6、0.080 5、0.080 5、0.048 0、0.048 0、0.138 6，最大特征根为 4.031 0，一致性比例 (consistency ratio, CR) 值为 0.011 6 (小于 0.1)，矩阵符合一致性检验，表明权重系数合理有效，据此权重对单因素考察结果进行综合评估。

2.5.2 AHP-CRITIC 法计算综合权重系数 ($\omega_{\text{综合}}$) 采用 SPSSAU 软件计算外观性状、SSa、SSb₁、SSb₂、

表 3 指标成对比较判断优先矩阵

Table 3 Priority matrix of index pairwise comparison judgment									
权重指标	外观性状	SSa	SSd	SSb ₁	SSb ₂	SSc	醇浸出物	ω_i	CR
外观性状	1	2	2	3	3	4	4	0.465 8	0.011 6
SSa	1/2	1	1	2	2	3	3	0.138 6	
SSd	1/2	1	1	2	2	3	3	0.138 6	
SSb ₁	1/3	1/2	1/2	1	1	2	2	0.080 5	
SSb ₂	1/3	1/2	1/2	1	1	2	2	0.080 5	
SSc	1/4	1/3	1/3	1/2	1/2	1	1	0.048 0	
醇溶性浸出物	1/4	1/3	1/3	1/2	1/2	1	1	0.048 0	

SSc、SSd、醇溶性浸出物的 CRITIC 法客观权重系数 (ω_j), ω_j 分别为 0.192 8、0.095、0.153 6、0.162 1、0.134 2、0.097 7、0.164 6。

为保证权重计算方法的合理性, 采用 AHP-CRITIC 法从主观与客观 2 个方面对响应面法试验数据进行综合赋权, 计算公式为 $\omega_{综合} = \omega_i \omega_j / \sum \omega_i \omega_j$, 计算得外观性状、SSa、SSb₁、SSb₂、SSc、SSd、醇溶性浸出物的 $\omega_{综合}$ 分别为 0.574 7、0.084 3、0.079 1、0.083 5、0.041 2、0.086 7、0.050 6。

2.5.3 综合评分权重系数比较 采用 AHP、CRITIC 及 AHP-CRITIC 法的权重系数对 BBD-RSM 法数据进行计算, 结果见表 4。采用 SPSS AU 在线软件对 3 种方法综合评分进行相关性分析, 结果 AHP 与 CRITIC、AHP 与 AHP-CRITIC、CRITIC 与 AHP-

CRITIC 的相关系数分别为 0.593、0.995、0.542, 3 者间的相关性均显著 ($P < 0.01$), 说明 3 种赋权法得到的综合评分结果具有一致性。

随后对 3 种赋权法所得权重系数进行相关性分析。结果显示, AHP 法与 CRITIC 法所得权重系数之间的相关系数为 0.420 ($P > 0.05$), 不具有统计学意义, 说明所反映的信息不具有叠加性。AHP-CRITIC 法充分考虑了主观与客观因素的影响, 较单一赋权法更为科学、合理, 故选用 AHP-CRITIC 法确定的权重系数计算 OD 值, OD 值越大, 表明得分越高, 结果越好。综合评分计算公式为 $OD = (\omega_1 Y_1 / Y_{1max} + \omega_2 Y_2 / Y_{2max} + \cdots + \omega_7 Y_7 / Y_{7max}) \times 100$, 式中 Y_i 为各指标结果, Y_{imax} 为各结果中最大值, $i = 1, 2, \cdots, 7$ 。

表 4 3 种赋权法综合评分结果

Table 4 Comprehensive scoring results of three weighting methods

序号	OD 值			序号	OD 值			序号	OD 值		
	AHP法	CRITIC法	AHP-CRITIC法		AHP法	CRITIC法	AHP-CRITIC法		AHP法	CRITIC法	AHP-CRITIC法
1	57.66	53.42	56.03	7	61.78	58.55	58.92	13	85.14	70.59	84.98
2	51.86	74.02	46.87	8	56.49	53.05	55.41	14	63.53	60.49	60.08
3	47.45	62.10	41.42	9	75.20	61.47	78.55	15	58.03	54.44	56.40
4	57.40	53.95	56.06	10	82.22	68.20	83.09	16	55.14	51.66	54.54
5	40.25	47.29	33.94	11	77.63	64.00	80.23	17	59.93	56.91	57.81
6	43.87	55.00	37.59	12	77.74	62.92	80.07				

2.6 酒柴胡炮制工艺的单因素考察

2.6.1 闷润时间 称取柴胡饮片 6 份, 每份 100 g, 加 20%黄酒, 分别闷润 1、2、4、6、8、10 h, 置炒药机中, 120 ℃炒制 14 min, 取出, 晾凉, 得酒柴胡炮制品, 对外观性状指标量化赋分、测定 5 种柴胡皂苷含量、醇溶性浸出物含量, 计算其 OD 值。由表 5 可知, 不同闷润时间的 OD 值变化不大, 提示无需对闷润时间优化, 只需闷透饮片即可, 综合考量, 后续酒柴胡工艺闷润时间均采用 4 h。

2.6.2 黄酒用量 称取柴胡饮片 6 份, 每份 100 g,

分别加入 5%、10%、20%、30%、40%、50%黄酒, 闷润 4 h, 置炒药机中, 120 ℃炒制 14 min, 取出, 晾凉, 得酒柴胡炮制品, 对外观性状指标量化赋分、测定 5 种柴胡皂苷含量、醇溶性浸出物含量, 计算其 OD 值。由表 6 可知, 当黄酒用量为 20%时, OD 值最高, 故选择 20%黄酒用量用于后续酒柴胡工艺优化。

2.6.3 炒制温度 称取柴胡饮片 6 份, 每份 100 g, 加 20%黄酒, 闷润 4 h, 置炒药机中, 分别在 80、100、120、140、160、180 ℃下炒制 14 min, 取出,

表 5 闷润时间对 OD 值影响

Table 5 Effects of moistening time on OD value

闷润时 间/h	外观 性状	质量分数/(mg·g ⁻¹)					浸出 物/%	OD值
		SSa	SSb ₁	SSb ₂	SSc	SSd		
1	3	3.467	0.021	0.072	0.686	4.358	23.63	77.06
2	3	3.922	0.017	0.080	0.768	4.895	23.77	79.90
4	3	3.988	0.017	0.083	0.800	4.823	23.54	80.33
6	3	3.966	0.018	0.079	0.791	4.877	23.71	80.14
8	3	3.854	0.017	0.085	0.810	4.943	23.75	80.37
10	3	4.015	0.017	0.077	0.755	4.925	23.59	79.82

表 6 黄酒用量对 OD 值影响

Table 6 Effects of rice wine dosage on OD value

黄酒用 量/%	外观 性状	质量分数/(mg·g ⁻¹)					浸出 物/%	OD值
		SSa	SSb ₁	SSb ₂	SSc	SSd		
5	1	3.596	0.019	0.058	0.706	4.400	23.14	58.74
10	3	3.748	0.017	0.056	0.759	4.524	23.53	77.58
20	5	4.074	0.019	0.060	0.768	4.941	23.55	99.83
30	3	3.934	0.019	0.060	0.760	4.753	24.15	80.23
40	3	3.612	0.019	0.060	0.726	4.612	24.07	78.64
50	3	3.515	0.019	0.059	0.661	4.293	24.28	76.72

晾凉,得酒柴胡炮制品,对外观性状指标量化赋分、测定 5 种柴胡皂苷含量、醇溶性浸出物含量,计算其 OD 值。由表 7 可知,当炒制温度为 140 ℃时,OD 值最高,故选择炒制温度 140 ℃用于后续酒柴胡工艺优化。

2.6.4 炒制时间 称取柴胡饮片 6 份,每份 100 g,加 20%黄酒,闷润 4 h,置炒药机中,分别在 120 ℃炒制 6、10、14、18、22、26 min,取出,晾凉,得酒柴胡炮制品,对外观性状指标量化赋分、测定 5 种柴胡皂苷含量、醇溶性浸出物含量,计算 OD 值。由表 8 可知,炒制时间为 14 min 时 OD 值最高,故选择炒制时间 14 min 用于后续酒柴胡工艺优化。

表 7 炒制温度对 OD 值影响

Table 7 Effects of frying temperature on OD value

炒制温 度/℃	外观 性状	质量分数/(mg·g ⁻¹)					浸出 物/%	OD值
		SSa	SSb ₁	SSb ₂	SSc	SSd		
80	1	2.753	0.014	0.038	0.553	3.407	21.76	43.10
100	3	2.718	0.015	0.040	0.570	3.456	22.44	62.29
120	3	2.803	0.013	0.043	0.555	3.343	22.58	61.99
140	5	3.303	0.014	0.043	0.603	3.677	22.82	84.20
160	1	3.480	0.018	0.073	0.703	4.206	22.81	51.66
180	1	3.171	0.051	0.277	0.678	3.581	21.52	58.95

表 9 BBD-RSM 因素水平、试验设计及指标测定结果

Table 9 BBD-RSM factor levels, experimental design and indicator measurement results

序号	X ₁ /℃	X ₂ /min	X ₃ /%	外观 性状	质量分数/(mg·g ⁻¹)					浸出 物/%	色度值		
					SSa	SSb ₁	SSb ₂	SSc	SSd		L*	a*	b*
1	160 (+1)	10 (-1)	20 (0)	3	3.11	0.02	0.05	0.64	3.61	20.06	70.50	3.18	24.78
2	160	18 (+1)	20	1	2.95	0.18	0.86	0.70	2.97	19.71	61.08	6.24	26.02
3	160	14 (0)	10 (-1)	1	3.21	0.10	0.51	0.69	3.59	19.85	68.37	5.01	25.10
4	160	14	30 (+1)	3	2.91	0.02	0.06	0.61	3.63	21.67	66.15	4.75	26.88
5	140 (0)	10	10	1	3.21	0.02	0.05	0.64	3.82	21.37	69.75	3.84	22.84
6	140	18	10	1	3.26	0.05	0.26	0.74	3.67	20.57	68.03	4.87	25.33
7	140	10	30	3	3.61	0.02	0.06	0.72	4.12	21.82	71.26	2.46	23.76
8	140	18	30	3	2.81	0.01	0.06	0.59	3.53	22.27	65.20	4.75	26.80
9	140	14	20	5	2.84	0.02	0.05	0.59	3.44	23.46	68.95	4.31	22.78
10	140	14	20	5	3.76	0.02	0.05	0.75	4.52	22.78	71.66	2.36	23.63
11	140	14	20	5	3.14	0.02	0.07	0.63	3.75	23.05	68.49	3.97	23.68
12	140	14	20	5	3.22	0.02	0.04	0.59	3.94	22.94	70.12	3.72	24.37
13	140	14	20	5	4.15	0.02	0.06	0.76	5.01	22.65	72.02	3.18	23.37
14	120 (-1)	10	20	3	3.70	0.02	0.05	0.76	4.54	22.45	71.36	2.16	23.54
15	120	18	20	3	3.04	0.02	0.05	0.62	3.73	21.89	67.09	4.43	22.24
16	120	14	10	3	2.66	0.02	0.06	0.57	3.27	21.56	68.99	4.80	24.90
17	120	14	30	3	3.25	0.02	0.08	0.66	3.92	22.03	70.17	3.44	24.33

1.79 X₂X₃-10.27 X₁²-16.27 X₂²-18.66 X₃², R²=0.969 5。方差分析结果见表 10, P=0.000 2, 失拟

表 8 炒制时间对 OD 值影响

Table 8 Effects of frying time on OD value

炒制时 间/min	外观 性状	质量分数/(mg·g ⁻¹)					浸出 物/%	OD值
		SSa	SSb ₁	SSb ₂	SSc	SSd		
6	1	3.054	0.017	0.056	0.624	3.710	21.72	48.00
10	3	3.195	0.016	0.059	0.634	3.718	22.35	67.48
14	5	3.206	0.015	0.062	0.642	3.756	23.47	86.59
18	3	3.094	0.050	0.266	0.658	3.585	23.07	74.12
22	1	2.953	0.084	0.421	0.668	3.322	22.91	60.17
26	1	2.484	0.109	0.588	0.673	2.472	22.37	60.47

2.7 响应面法优化柴胡酒炙工艺

2.7.1 实验设计与结果 结合上述单因素考察结果,发现黄酒用量、炒制温度、炒制时间对酒柴胡有效成分影响较大,故采用响应面法对柴胡的酒炙工艺进一步优化。以炒制温度(X₁)、炒制时间(X₂)、黄酒用量(X₃)为考察因素,外观性状与内在质量的综合评分 OD 值为评价指标,设计 3 因素 3 水平试验,结果见表 9。

2.7.2 模型拟合及显著性检验 采用 Design Expert 8.0 软件,对炒制温度、炒制时间、黄酒用量考察指标进行二次多项回归,回归方程为 OD=81.39-3.56 X₁-1.58 X₂+7.59 X₃-1.37 X₁X₂+2.84 X₁X₃-

项 P=0.079 9>0.05,说明模型选择合理,拟合度好,故选用该模型对柴胡酒炙工艺进行预测和分

析。各因素对评价指标的影响顺序为 $X_3 > X_1 > X_2$ ，其中 X_3 、 X_1^2 、 X_2^2 、 X_3^2 为极显著项， X_1 为显著项，其他项不显著。

2.7.3 工艺优化及验证 采用 Design Expert 8.0 软

件绘制因素与响应值关系的三维效应面图（图 2）。理论优化得到酒柴胡最佳炮制工艺为每 100 g 柴胡饮片，加 21.95% 黄酒，闷透，置于温度控制在 137.14 °C 炒制容器，炒制 13.79 min。

表 10 方差分析结果

Table 10 Results of variance analysis

误差来源	平方和	自由度	均方	F值	P值	误差来源	平方和	自由度	均方	F值	P值
模型	3 988.05	9	443.12	24.70	0.000 2	X_1^2	444.33	1	444.33	24.77	0.001 6
X_1	101.18	1	101.18	5.64	0.049 3	X_2^2	1 113.93	1	1 113.90	62.09	0.000 1
X_2	20.10	1	20.10	1.12	0.325 0	X_3^2	1 465.73	1	1 465.70	81.70	<0.000 1
X_3	460.71	1	460.71	25.68	0.001 5	残差	125.58	7	17.94		
X_1X_2	7.51	1	7.51	0.42	0.538 3	失拟项	98.64	3	32.88	4.88	0.079 9
X_1X_3	32.32	1	32.32	1.80	0.221 4	纯误差	26.94	4	6.74		
X_2X_3	12.82	1	12.82	0.71	0.425 9	总离差	4 113.64	16			

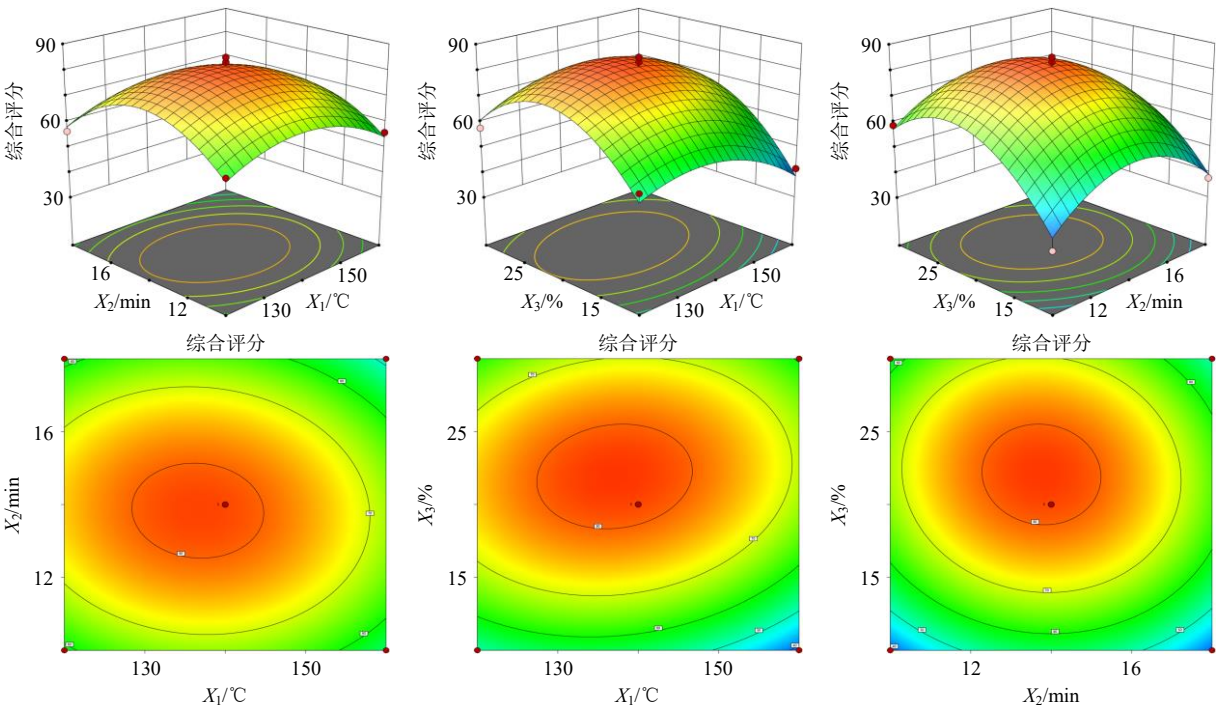


图 2 炒制温度、炒制时间、黄酒用量交互作用的三维响应面图

Fig. 2 Three-dimensional response surface diagram of the interaction of stir-frying temperature, stir-frying time and rice wine dosage

然而炮制过程中涉及的仪器设备，其显示与调控模块具有整数化倾向，难以实现非整数参数的精准控制；同时为便于生产操作人员快速读取和调整参数，提升操作便利性，实现数字化、标准化和规模化生产，故将最佳工艺调整为黄酒用量 22%，炒制温度 140 °C，炒制时间 14 min。对优化后的炮制工艺进行验证，最终综合评分平均值为 82.78，与模型预测 OD 值（82.42）偏差较小（RSD=1.71%），说明采用响应面法优化的柴胡酒炙工艺具有良好的预测性及可靠性。

2.8 颜色相关性分析

2.8.1 色度值的测定 取过 4 号筛的酒柴胡粉末，约 10 g，置扁形称量瓶中压平，电子眼测定样品色度值。读取色度值 L^* （亮度）、 a^* （红绿色度）、 b^* （黄蓝色度），结果见表 9。

2.8.2 柴胡皂苷类成分含量与色度值相关性分析 采用 GraphPad Prism 9.5 及 SPSS AU 软件对样品各指标成分的含量与色度值作变化趋势图及相关性分析，结果见图 3 和表 11， L^* 值与 SSa、SSd 含量呈正相关（ $P < 0.01$ ），与 SSb₁、SSb₂ 含量呈负相关

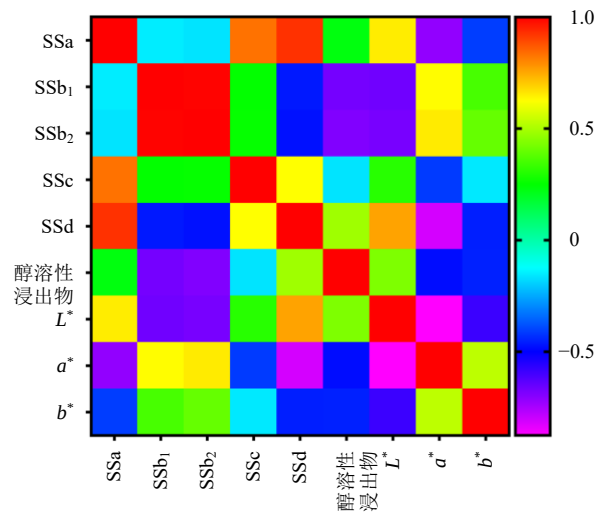


图 3 指标成分与色度值的相关性热图

Fig. 3 Correlation heat map of index components and chromaticity values

表 11 指标性成分含量与色度值相关性分析

Table 11 Correlation analysis between index component content and chromaticity value

指标	相关系数								
	SSa	SSb ₁	SSb ₂	SSc	SSd	醇溶性浸出物	L*	a*	b*
SSa	1.000								
SSb ₁	-0.152	1.000							
SSb ₂	-0.165	0.995**	1.000						
SSc	0.832**	0.252	0.256	1.000					
SSd	0.927**	-0.466	-0.477	0.624**	1.000				
醇溶性浸出物	0.228	-0.673**	-0.691**	-0.165	0.483*	1.000			
L*	0.650**	-0.665**	-0.677**	0.306	0.759**	0.434	1.000		
a*	-0.714**	0.627**	0.653**	-0.415	-0.812**	-0.483*	-0.875**	1.000	
b*	-0.411	0.353	0.398	-0.158	-0.457	-0.453	-0.588*	0.527*	1.000

* $P<0.05$ ** $P<0.01$ 。

利用 SPSS 软件相应样品进行回归分析, 结果见表 12, 5 种柴胡皂苷、醇溶性浸出物含量的决定系数分别为 0.514、0.453、0.474、0.188、0.670、0.291。决定系数高低与柴胡酒炙过程中成分含量变化幅度有关, 变化幅度越高, 差异越大, 决定系数越高。

表 12 酒柴胡有效成分含量模型汇总

Table 12 Model summary of active ingredient content of wine-fried *Bupleuri Radix*

指标	r	r^2	调整 r^2
SSa	0.717	0.514	0.402
SSb ₁	0.673	0.453	0.327
SSb ₂	0.688	0.474	0.353
SSc	0.434	0.188	0.001
SSd	0.818	0.670	0.593
醇溶性浸出物	0.540	0.291	0.127

($P<0.01$), 表明 L^* 值越小, SSb_1 、 SSb_2 含量越高, SSa 、 SSd 含量越低; 与 SSc 、醇溶性浸出物含量相关性不显著 ($P>0.05$)。 a^* 值与 SSa 、 SSd 、醇溶性浸出物含量呈负相关 ($P<0.05$ 、 0.01), 与 SSb_1 、 SSb_2 含量呈正相关 ($P<0.01$), 表明 a^* 值越大, SSb_1 、 SSb_2 含量越高, SSa 、 SSd 、醇溶性浸出物含量越低, 其他成分含量与 a 值相关性不显著 ($P>0.05$)。 b^* 值与 SSa 、 SSc 、 SSd 、醇溶性浸出物含量呈负相关, 与 SSb_1 、 SSb_2 含量呈正相关, 但差异性不具有显著性 ($P>0.05$)。由此说明, 柴胡酒炙过程中有效成分含量与颜色的变化具有一定相关性, 可通过炮制过程中颜色变化预测样品内在成分含量。

2.8.3 成分与色度值回归性分析 为进一步判断色度值与指标成分含量之间的相互影响, 以色度值 L^* 、 a^* 、 b^* 为自变量, 5 种柴胡皂苷含量为因变量,

由表 13 可知, 3 个色度值与 SSa 、 SSb_1 、 SSb_2 、 SSd 含量构成的回归方差呈显著性; 与 SSc 、醇溶性浸出物含量构成的回归方差无显著性, 表明酒柴胡炮制过程中外观色度与 SSa 、 SSb_1 、 SSb_2 、 SSd 含量密切相关。

由表 14 得回归方程: $Y_{SSa}=3.485+0.012 L^*-0.220 a^*-0.009 b^*$; $Y_{SSb_1}=0.614-0.008 L^*+0.008 a^*-0.002 b^*$; $Y_{SSb_2}=2.452-0.036 L^*+0.051 a^*-0.001 b^*$; $Y_{SSc}=1.121-0.005 L^*-0.038 a^*+0.002 b^*$; $Y_{SSd}=2.435+0.037 L^*-0.287 a^*-0.001 b^*$; $Y_{\text{醇溶性浸出物}}=32.911-0.048 L^*-0.449 a^*-0.250 b^*$, 据此可通过酒柴胡的颜色快速预测酒柴胡中内在指标性成分的含量, 进而判断其质量和炮制程度。

3 讨论

权重赋值法是一种通过对不同因素或多个评价

表 13 酒柴胡有效成分含量方差分析

Table 13 Variance analysis of active ingredient content of wine-fried *Bupleuri Radix*

指标	模型	平方和	统计量	均方	F值	P值	指标	模型	平方和	统计量	均方	F值	P值
SSa	回归平方和	1.228	3	0.409	4.588	0.021	SSc	回归平方和	0.013	3	0.004	1.003	0.423
	残差平方和	1.160	13	0.089				残差平方和	0.056	13	0.004		
	总体平方和	2.387	16					总体平方和	0.069	16			
SSb ₁	回归平方和	0.013	3	0.004	3.591	0.044	SSd	回归平方和	2.651	3	0.884	8.779	0.002
	残差平方和	0.016	13	0.001				残差平方和	1.309	13	0.101		
	总体平方和	0.029	16					总体平方和	3.960	16			
SSb ₂	回归平方和	0.364	3	0.121	3.905	0.034	醇溶性浸出物	回归平方和	6.102	3	2.034	1.779	0.201
	残差平方和	0.404	13	0.031				残差平方和	14.860	13	1.143		
	总体平方和	0.769	16					总体平方和	20.960	16			

表 14 色度值与指标成分回归系数

Table 14 Regression coefficient of chromaticity value and index component

指标	模型	非标准化系数	标准系数	t值	P值	指标	模型	非标准化系数	标准系数	t值	P值
SSa	常量	3.485		0.668	0.516	SSc	常量	1.121		0.977	0.346
	<i>L</i> [*]	0.012	0.087	0.208	0.839		<i>L</i> [*]	-0.005	-0.221	-0.406	0.691
	<i>a</i> [*]	-0.220	-0.621	-1.556	0.144		<i>a</i> [*]	-0.038	-0.632	-1.224	0.243
	<i>b</i> [*]	-0.009	-0.033	-0.136	0.894		<i>b</i> [*]	0.002	0.045	0.145	0.887
SSb ₁	常量	0.614		1.006	0.333	SSd	常量	2.435		0.439	0.668
	<i>L</i> [*]	-0.008	-0.529	-1.188	0.256		<i>L</i> [*]	0.037	0.207	0.597	0.561
	<i>a</i> [*]	0.008	0.197	0.464	0.650		<i>a</i> [*]	-0.287	-0.629	-1.910	0.079
	<i>b</i> [*]	-0.002	-0.062	-0.245	0.810		<i>b</i> [*]	-0.001	-0.004	-0.019	0.986
SSb ₂	常量	2.452		0.796	0.440	醇溶性浸出物	常量	32.911		1.761	0.102
	<i>L</i> [*]	-0.036	-0.456	-1.045	0.315		<i>L</i> [*]	-0.048	-0.115	-0.226	0.825
	<i>a</i> [*]	0.051	0.256	0.616	0.548		<i>a</i> [*]	-0.449	-0.428	-0.887	0.391
	<i>b</i> [*]	-0.001	-0.006	-0.022	0.983		<i>b</i> [*]	-0.250	-0.295	-1.023	0.325

指标的权重进行赋值并得出最终决策或评价结果的决策分析法,在多指标评价中药质量、炮制工艺等方面应用广泛^[14]。AHP法能从实际出发建立各指标的优先判断矩阵,但主观性较强,容易忽视客观数据;CRITIC法具有较强的客观性,但无法真实全面地反映各项指标的优先顺序。

综合赋权法将主观赋权法和客观赋权法相结合,利用2种方法的优点,克服单一赋权法局限性,使评价结果更加科学、合理。因此本研究首先采用AHP-CRITIC综合赋权法对外观性状、SSa、SSb₁、SSb₂、SSc、SSd、醇溶性浸出物指标进行综合权重分析,主客观相结合更真实准确地反映酒柴胡质量真实情况。综合《中国药典》、地方炮制规范、现代文献考察^[15-17]和前期预实验研究结果,对黄酒用量、闷润时间、炒制温度、炒制时间等炮制因素系统考察,通过单因素实验,明确了柴胡酒炙过程中关键影响因素的适用范围:黄酒用量10%~30%、炒制温度120~160℃、炒制时间10~18min。最

后采用BBD-RSM设计3因素3水平试验优选柴胡最优酒炙工艺,综合分析得柴胡酒炙最佳工艺为100g柴胡饮片,22%黄酒用量,闷透,140℃炒制14min。

结合单因素试验分析5种柴胡皂苷单体及醇溶性浸出物变化趋势发现,闷润时间对5种柴胡皂苷及醇溶性浸出物含量变化差异不大;SSa、SSc、SSd含量及醇溶性浸出物含量随着黄酒用量增加呈先增加后下降的趋势,而SSb₁、SSb₂含量未见明显变化;原因可能为黄酒具有促进脂溶性成分溶出作用^[4],柴胡皂苷含量随黄酒用量增加而增加;但黄酒用量进一步增加为30%~50%时,柴胡酒炙后,饮片疏散、变软,水分增加,反而导致有效成分含量降低;炮制温度与炮制时间对指标性成分含量影响趋势相似,SSa、SSc、SSd及醇溶性浸出物含量均呈先增加后下降趋势,SSb₁、SSb₂含量为上升趋势;炒制温度为80~160℃,炒制时间为6~18min时,随着炒制时间增加,SSa、SSc、SSd含量呈增加趋

势, 而 SSb₁、SSb₂ 含量变化差异较小; 炒制温度 160 ℃、炒制时间 18 min 以后, SSa、SSd 含量急剧下降, 而 SSb₁、SSb₂ 含量急剧上升。这可能与高温条件下原生皂苷 SSa、SSd 中的环氧结构易开环转化成次生皂苷 SSb₁、SSb₂ 有关, 该结果与文献报道一致^[18-19]。由此可见黄酒用量、炒制温度及炒制时间对柴胡化学成分变化影响较大, 是柴胡酒炙过程中需重点关注的因素。

色度分析法通过客观化、数据化的颜色定量, 既传承了“辨色论质”的传统智慧, 又弥补了人工感官判断主观性强、无法定量的不足, 已广泛应用于中药质量评价体系^[20-21]。柴胡在酒炙过程中随着炮制参数的改变, 饮片表面颜色呈淡黄向深黄再到焦黄的变化。可能是因为: ①随着黄酒用量的增加, 黄酒本身色素逐渐增多, 进而导致酒柴胡饮片颜色逐渐加深; ②随着炒制温度、炒制时间的增加, 酒柴胡颜色逐渐变深、变暗, 出现由淡黄向深黄再到焦黄的转变。

前期预实验和文献报道均发现, 柴胡在炮制过程中, SSa、SSd 会逐渐转化为 SSb₁、SSb₂, 这种转化与炮制温度和炮制时间直接相关, 而炮制温度和炮制时间又直接导致柴胡饮片外观颜色的变化, 因此, 本研究引入可精准量化饮片颜色的电子眼分析技术, 通过测定酒柴胡炮制过程中的颜色变化(色度值), 同时与其内在化学成分含量进行关联性分析^[22-23], 探讨酒柴胡外观色泽与内在成分变化的相关性。结果发现, 酒柴胡内在成分含量与 L^* 、 a^* 、 b^* 值关系密切, 其中 SSb₁、SSb₂ 与 L^* 呈负相关, 与 a^* 、 b^* 呈正相关, 而 SSa、SSc、SSd 及醇溶性浸出物均与 L^* 呈正相关, 与 a^* 、 b^* 呈负相关。回归分析发现, 指标成分含量与酒柴胡色度值构成的回归模型具有统计学意义, 即酒柴胡炮制过程中色度值的变化, 可客观地反映柴胡酒炙过程中各指标成分含量变化趋势和酒柴胡炮制程度, 从而为柴胡酒炙工艺的终点指标数字化、标准化提供科学依据。

本研究首要目的是考察柴胡酒炙过程中的关键影响因素, 明确柴胡最佳酒炙工艺。然而柴胡作为临床常用大品种, 存在基源混乱、市场饮片鱼龙混杂的现象, 为避免样品本身对炮制因素考察的影响, 开展炮制工艺研究前, 课题组首先对不同产地, 不同来源及不同品种的柴胡, 从外观性状、化学成分和生物活性 3 个层次进行序贯分析, 为柴胡酒炙工艺研究筛选出质量稳定可靠的柴胡饮片, 从而更

客观、准确地明晰柴胡酒炙过程的关键影响因素^[24]。但本研究亦存在一定局限, 如指标性成分的选择上, 虽然根据预实验及文献调研, 在《中国药典》2025 年版指标性成分 SSa、SSd 基础上, 增加了 SSb₁、SSb₂、SSc 及醇溶性浸出物含量为检测指标, 可更全面地反映炮制过程中柴胡有效成分的变化情况。然中药本身成分复杂, 当前技术手段尚不能完全解读中药物质基础与药理作用, 但本研究通过引入“SSb₁、SSb₂、SSc 及醇溶性浸出物含量”和电子眼的定量检测技术, 在一定程度上可更全面定量反映柴胡酒炙过程中的主要成分和外观颜色变化情况, 从而为酒柴胡炮制过程数字化质控指标设定提供参考, 相信未来随着分析技术和中药药效物质基础研究的进一步深化, 将更加清晰明确地阐明酒柴胡炮制过程中色度-成分-药效的变化规律。后期将对因饮片长期储存等因素对颜色和成分产生的影响, 开展专门研究, 以更全面准确反映饮片外观颜色变化与指标性成分含量间的关系。

综上, 本研究探明了酒柴胡炮制过程中的关键影响因素, 同时明确了炮制过程中外观色泽与内在成分间关系, 并通过电子眼技术数字化炮制过程, 为后期柴胡酒炙的工业化、智能化生产提供科学依据和技术参考。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

- [1] 中国药典 [S]. 一部. 2025: 301.
- [2] 杨晰雯, 胡文凯, 蒋鑫, 等. 柴胡化学成分及药理作用研究进展 [J]. 药学前沿, 2024, 27(11): 507-522.
- [3] 郑长辉, 马丽娜, 何婷, 等. 基于“通权达变”思想探究柴胡不同炮制方法 [J]. 中国药物警戒, 2024, 21(8): 955-960.
- [4] 方思, 程琳, 田秀娟, 等. 中药炮制辅料黄酒的应用历史沿革及其现代研究 [J]. 药学前沿, 2025, 28(2): 334-344.
- [5] 杨锦妮, 刘新月, 张艳. 中药“酒制升提”炮制理论的研究进展与探讨 [J]. 中草药, 2023, 54(18): 6139-6149.
- [6] 潘许玲, 瞿领航, 王洁, 等. 正交试验法优选酒柴胡炮制工艺 [J]. 中国医院药学杂志, 2018, 38(9): 942-945.
- [7] 祝婧, 钟凌云, 刘礼平, 等. 樟帮特色酒润麸炒柴胡的炮制工艺优化 [J]. 中国实验方剂学杂志, 2015, 21(20): 9-12.
- [8] 范星晨, 祁玉芳, 张科卫, 等. 基于 Box-Behnken 设计-响应面法和电子眼的栀子姜炙工艺研究 [J]. 中草药, 2024, 55(7): 2175-2182.
- [9] 杨嵩虹, 张钰祺, 叶财兴, 等. 基于变异系数法-AHP

- 综合加权结合响应面法优选醋炙乌药炮制工艺 [J]. 时珍国医国药, 2024, 35(5): 1146-1152.
- [10] 黄莉, 杨磊, 金凯, 等. AHP-CRITIC 综合加权联用响应面法的蜜百合炮制工艺优选及颜色相关性分析 [J]. 中草药, 2024, 55(18): 6174-6185.
- [11] 徐月, 贾哲, 王云, 等. 基于“表里关联”的炒甘草质量动态变化分析 [J]. 中国实验方剂学杂志, 2025, 31(5): 194-202.
- [12] 周洁, 周晶晶, 甄小龙, 等. 基于“表里关联”和化学计量学的红党参炮制过程中成分含量与色度相关性研究 [J]. 时珍国医国药, 2024, 35(4): 877-880.
- [13] 杨静容, 陈亚楠, 肖春萍, 等. 响应面法优化盐关黄柏炮制工艺及其成分与色度相关性分析 [J]. 中草药, 2024, 55(15): 5093-5103.
- [14] 贺方良, 程显隆, 李明华, 等. 权重赋值法在多指标综合评价中的研究进展及其在中药质量评价中的应用展望 [J]. 中国现代中药, 2024, 26(1): 224-232.
- [15] 董蕊, 逯影, 王盼. 熵权法结合 Box-Behnken 响应面法优化北柴胡醋炙工艺及其对小鼠肝损伤保护作用研究 [J]. 食品工业科技, 2021, 42(23): 209-217.
- [16] 张秀如, 杨金平, 焦春梅, 等. 基于正交试验设计-组合赋权 TOPSIS 法的菟丝子酒炙工艺优化 [J]. 山东中医药大学学报, 2024, 48(5): 596-602.
- [17] 郭晶晶, 史彦蕾, 李硕, 等. 基于正交设计和熵权 TOPSIS 法优化酒炙甘草炮制工艺 [J]. 时珍国医国药, 2024, 35(7): 1639-1642.
- [18] 刘德鹏, 王云, 张雪, 等. 柴胡产地加工及炮制方法研究进展 [J]. 中国实验方剂学杂志, 2019, 25(19): 204-211.
- [19] 邱云, 苏健, 庞雪, 等. 不同炮制方法对北柴胡中柴胡皂苷 a、d 的含量影响 [J]. 湖南中医药大学学报, 2016, 36(2): 51-53.
- [20] 尚超凡, 周巧, 朱娟娟, 等. 电子感官技术在中药质量辨识及炮制的应用概况 [J]. 中草药, 2024, 55(24): 8654-8663.
- [21] 闫蓓蓓, 邵冰梅, 吕志强, 等. 人工智能感官技术在中药炮制研究中的应用 [J]. 时珍国医国药, 2023, 34(11): 2665-2669.
- [22] 杨紫琪, 徐梦丹, 张雪晶, 等. 基于性状-化学-活性的黑西洋参炮制过程分析 [J]. 中草药, 2024, 55(19): 6566-6576.
- [23] 黄宝泰, 刘梦遥, 刘星彤, 等. 基于“表里关联”和化学计量学的西洋参微波炮制过程中皂苷含量与色度变化的分析 [J]. 世界科学技术-中医药现代化, 2023, 25(1): 184-195.
- [24] 郑长辉, 马丽娜, 何婷, 等. 基于“性状-化学-生物”序贯检测的柴胡饮片质量评控 [J]. 中国药物警戒, 2025, 22(2): 197-205.

[责任编辑 郑礼胜]