羊胎盘冻干饮片炮制工艺的优化Δ

樊毓清[1,2*]，祝　婧[2#]，陈　泣[1]，傅金荣[3]，付金洪[3]（1.江西中医药大学药学院，南昌　330004；2.江西中医药大学中药资源与民族药研究中心，南昌　330004；3.江西天元药业有限公司，江西 宜春　331208）

中图分类号　R943.1；R283.6　　**文献标志码**　A　　**文章编号**　1001-0408（2024）22-2739-05
DOI　10.6039/j.issn.1001-0408.2024.22.06

摘　要　目的　优化羊胎盘冻干饮片工艺。**方法**　采用正交试验设计以预冻时间、干燥时间、干燥温度为指标筛选羊胎盘冻干饮片的最优炮制工艺。以羊胎盘多肽含量、醇溶性浸出物含量、冻干率为指标，采用层次分析法-基于指标相关性的指标权重确定方法混合加权法确定各指标权重、计算综合评分，并采用逼近理想解排序法模型进行验证。**结果**　最优炮制工艺为预冻时间2 h，干燥时间16 h，干燥温度30 ℃。验证试验中，3批样品中羊胎盘多肽含量、醇溶性浸出物含量、冻干率的平均值分别为5.883 mg/mL、27.1%、95.77%；3批样品的综合评分分别为96.42、99.18、99.58，RSD为1.75%。**结论**　本研究成功优化了羊胎盘冻干饮片的炮制工艺，所得最优炮制工艺可为该饮片的质量标准制定及工业化生产提供参考。

关键词　羊胎盘；层次分析法；基于指标相关性的指标权重确定方法；正交设计；逼近理想解排序法；冷冻干燥；工艺优化

Optimization of the freeze-drying process for sheep placenta slices

FAN Yuqing[1,2], ZHU Jing[2], CHEN Qi[1], FU Jinrong[3], FU Jinhong[3] (1. School of Pharmacy, Jiangxi University of Chinese Medicine, Nanchang 330004, China; 2. Research Center of Natural Resources of Chinese Medicinal Materials and Ethnic Medicine, Jiangxi University of Chinese Medicine, Nanchang 330004, China; 3. Jiangxi Tianyuan Pharmaceutical Co., Ltd., Jiangxi Yichun 331208, China)

ABSTRACT　OBJECTIVE To optimize the freeze-drying process for sheep placenta slices. **METHODS** An orthogonal test design was used with pre-freezing time, drying time and drying temperature as indicators to screen for the optimal freeze-drying process for sheep placenta slices. The peptide content, ethanol-soluble extract content, and freeze-drying rate of sheep placenta were used as indicators, the analytic hierarchy process-criteria importance through intercriteria correlation (AHP-CRITIC) method was employed to determine the weight of each indicator and calculate the comprehensive score, which was verified using the technique for order of preference by similarity to ideal solution (TOPSIS) model. **RESULTS** The optimal preparation process was found to be the pre-freezing time of 2 hours, the drying time of 16 hours, and the drying temperature of 30 °C. The average values of peptide content, ethanol-soluble extract content, and freeze-drying rate for three batches of samples were 5.883 mg/mL, 27.1%, and 95.77%, respectively; the comprehensive scores of three batches were 96.42, 99.18 and 99.58, with RSD of 1.75%. **CONCLUSIONS** This study successfully optimized the freeze-drying process for sheep placenta slices, which can provide a reference for the quality standard setting and industrial production of this type of slice.

KEYWORDS　sheep placenta; AHP; CRITIC; orthogonal design; TOPSIS; freeze-drying; process optimization

羊胎盘为牛科动物绵羊 *Ovis aries* Linnaeus 健康体的干燥胎盘，具有温补肾阳、益气养血的功效，主要用于治疗不孕少乳、气血两虚、肾虚羸瘦、骨蒸盗汗、阳痿遗精、咳嗽气喘、食少气短等症[1]。羊胎盘含有蛋白质、氨基酸、多肽、微量元素等化学成分[2]，其中羊胎盘多肽为主要有效成分。羊胎盘炮制工艺始载于清代，《本经逢原》云“羊胎炙干入药”，并简要记载了羊胎盘的炮制方法[3]。其可采用焯制、盐腌制、姜腌制、青稞酒炙等方法炮制[4]，也可采用净制后直接干燥烘焙法炮制，但这些炮制方法均需经干燥处理，而传统的晒干、焙干[5]、烘干[6]等干燥方法均存在依赖天气、耗时长、温度难以控制且不稳定、高温易破坏饮片活性成分等不足[7]。真空冷冻干燥技术作为一种新型干燥技术，已广泛应用于中药炮制，该方法能很好地弥补上述不足[8]。目前，羊胎盘的质量标准仅收载于青海、浙江、甘肃三省中药材标准中，但上述标准均未收录其炮制工艺，缺乏规范化的炮制标

Δ**基金项目**　江西省重点研发计划-产业链科技创新联合体揭榜挂帅项目（No.20224BBG71022）；宜春市科技计划项目（No.宜科字〔2024〕17号）；江西中医药大学大学生创新创业训练计划项目（No.202410412191）；江西中医药大学中药炮制技术传承创新团队项目（No.CXTD22003）；江西中医药大学研究生创新专项（No.XJ-S202484）

*　**第一作者**　硕士研究生。研究方向：中药炮制。E-mail：286460881@qq.com

#　**通信作者**　副教授，博士。研究方向：中药、民族药饮片质量标准及炮制机制。E-mail：277836041@qq.com

准，这导致羊胎盘冻干饮片无法工业化生产，限制了该饮片的应用。

层次分析法（analytic hierarchy process，AHP）可通过决策者经验主观评价各指标的相对重要程度并量化赋权来辅助决策[9]。基于指标相关性的指标权重确定方法（criteria importance though inter-criteria correlation，CRITIC）以评价指标间的冲突性及对比强度为基础，能客观反映指标的权重系数，并能兼顾指标间的关联性和数据变异性[10-11]。逼近理想解排序法（technique for order preference by similarity to ideal solution，TOPSIS）可基于归一化后的原始数据矩阵，采用余弦法找出有限方案中的最优、最劣方案[12]。基于此，本研究以羊胎盘多肽含量、浸出物含量、冻干率为指标，采用正交试验设计，同时结合以TOPSIS法验证了科学性的AHP-CRITIC混合加权法，来优化羊胎盘冻干饮片的炮制工艺，旨在为其质量标准的制定及工业化生产提供科学依据。

1 材料

1.1 主要仪器

本研究所用主要仪器包括LGJ-10E型冷冻干燥机[四环福瑞科仪科技发展（北京）有限公司]、JJ-2型高速组织捣碎匀浆机、HH-6型恒温水浴锅（常州国华电器有限公司）、HE53/02型水分测定仪[梅特勒-托利多仪器（上海）有限公司]、CP214型万分之一天平[奥豪斯仪器（上海）有限公司]、Velocity 18R Pro型台式离心机（英国Dynamica公司）、GZX-9076MBE型电热鼓风干燥箱（上海博讯实业有限公司医疗设备厂）、UV-B000S型紫外可见分光光度计（上海元析仪器有限公司）。

1.2 药品与试剂

新鲜羊胎盘（批号20230423）购自江西天元药业有限公司；双缩脲法蛋白含量检测试剂盒（批号MFD 20231016）购自北京索莱宝科技有限公司；氯化钠注射液（批号D22070306）购自江西科伦药业有限公司；无水乙醇为分析纯，水为纯净水。

2 方法与结果

2.1 羊胎盘冻干饮片的炮制

将新鲜羊胎盘清洗干净，去除羊膜及脐带，剪碎，平铺于物料盘中，送入真空冷冻干燥机的冷阱，密闭后打开压缩机，使搁板温度降至－30 ℃开始预冻；预冻完成后，将物料盘置于硬质托盘上，罩上有机玻璃罩后，打开真空泵及真空计，使真空气压降至10 Pa；启动搁板控温，采用梯度升温方式干燥（前期预试验确定）；干燥结束后，解除真空状态，即得羊胎盘冻干样品。每10 g新鲜羊胎盘可得到羊胎盘冻干饮片1.4～1.8 g。

2.2 指标成分的测定方法

2.2.1 羊胎盘多肽含量测定

取羊胎盘冻干饮片，剪碎成约1～1.5 cm^3，加入45倍氯化钠注射液，用高速组织捣碎匀浆机捣碎（12 000 r/min，3 min×10次），取匀浆液，于－20 ℃冻结48 h后，在20 ℃融化，反复冻融3次后于离心机离心沉淀（8 000 r/min，25 min），取上清液，经0.22 μm微孔滤膜滤过2次，收集滤液，即得羊胎盘提取液[13]。取3个玻璃比色皿，空白比色皿中加入蒸馏水200 μL、双缩脲试剂盒的试剂一1 000 μL，标准比色皿中加入双缩脲试剂盒的标准液200 μL、双缩脲试剂盒的试剂一1 000 μL，测定比色皿中加入羊胎盘提取液200 μL、双缩脲试剂盒的试剂一1 000 μL，将3个比色皿分别混匀后，室温静置15 min，采用紫外可见分光光度计于540 nm波长处测定吸光度值（A），按下述公式计算羊胎盘多肽的含量：羊胎盘多肽含量（mg/mL）＝5÷（$A_{标准管}-A_{空白管}$）×（$A_{测定管}-A_{空白管}$）。

2.2.2 醇溶性浸出物含量测定

以70%乙醇作溶剂，参照2020年版《中国药典》（四部）通则“2201”项下的热浸法[14]测定羊胎盘醇溶性浸出物含量。

2.2.3 冻干率测定

采用烘干法测定样品中的含水量（%），按下述公式计算冻干率：冻干率（%）＝100%－含水量[15]。

2.3 羊胎盘冻干饮片炮制工艺的单因素试验

2.3.1 预冻时间

取净制后的新鲜羊胎盘，按“2.1”项下方法进行预冻，设置搁板温度－30 ℃、干燥时间8 h、干燥温度40 ℃，分别考察不同预冻时间（2、3、4、5 h）对醇溶性浸出物含量、冻干率的影响。结果显示，随着预冻时间的延长，醇溶性浸出物含量有下降趋势，冻干率变化不大。鉴于预冻时间越长，耗电量越大，故本研究选择预冻时间为2～4 h。结果见表1。

表1 预冻时间的单因素考察结果

预冻时间/h	醇溶性浸出物含量/%	冻干率/%
2	25.7	92.17
3	18.9	93.55
4	19.5	91.85
5	18.7	92.59

2.3.2 干燥时间

取净制后的新鲜羊胎盘，设置搁板温度－30 ℃、预冻时间3 h、干燥温度40 ℃，考察不同干燥时间（14、16、18、20 h）对醇溶性浸出物含量、冻干率的影响。结果显示，随着干燥时间延长，醇溶性浸出物含量、冻干率均呈先升高后降低趋势，当干燥时间达到18 h时，醇溶性浸出物含量、冻干率均达到最高，故本研究选择干燥时间为14～18 h。结果见表2。

表2　干燥时间的单因素考察结果

干燥时间/h	醇溶性浸出物含量/%	冻干率/%
14	19.9	93.06
16	21.5	93.33
18	26.5	94.25
20	18.7	92.83

2.3.3　干燥温度

取净制后的新鲜羊胎盘，设置搁板温度－30 ℃、预冻时间3 h、干燥时间8 h，考察不同干燥温度（20、30、40、50 ℃）对醇溶性浸出物含量、冻干率的影响。结果显示，当干燥温度为20 ℃时，羊胎盘饮片中的水分未充分去除，未能干燥成功，且醇溶性浸出物含量较低，故本研究选择干燥温度为30～50 ℃。结果见表3。

表3　干燥温度的单因素考察结果

干燥温度/℃	醇溶性浸出物含量/%	冻干率/%
20	7.5	未烘干
30	23.4	93.36
40	22.2	93.55
50	21.0	92.35

2.4　正交试验优化羊胎盘冻干饮片炮制工艺

2.4.1　因素与水平

根据单因素考察结果，以预冻时间（*A*）、干燥时间（*B*）、干燥温度（*C*）为因素，羊胎盘多肽含量、醇溶性浸出物含量、冻干率为指标进行正交试验设计。正交试验因素与水平见表4。

表4　正交试验因素与水平

水平	*A*/h	*B*/h	*C*/℃
1	2	14	30
2	3	16	40
3	4	18	50

2.4.2　正交试验结果

利用SPSS 27.0软件对正交试验结果进行分析。结果（表5）显示，各因素对炮制工艺的影响依次为$B>A>C$，且$B_2>B_1>B_3$、$A_1>A_3>A_2$、$C_1>C_2>C_3$，同时方差分析结果（表6）也显示，各因素对炮制工艺的影响依次为$B>A>C$。故最优炮制工艺为$A_1B_2C_1$，即预冻时间2 h，干燥时间16 h，干燥温度30 ℃。

2.5　综合评分法确定羊胎盘冻干饮片炮制工艺

2.5.1　AHP法确定各指标的权重系数

本研究以羊胎盘多肽含量、醇溶性浸出物含量、冻干率为指标，采用AHP法构建成对比较的判断优先矩阵并计算权重系数。结果显示，羊胎盘多肽含量、醇溶性浸出物含量、冻干率的权重系数分别为0.623 2、0.239 5、0.137 3。进一步对各权重系数进行一致性检验发现，矩阵的一致性比例因子为0.017（<0.1），满足一致性检验，表明所得权重系数合理。

2.5.2　CRITIC法确定各指标的权重系数

将正交试验结果代入公式$Y_{ij}=[X_{ij}-\min(X_j)]/[\max(X_j)-\min(X_j)]$，式中，$Y_{ij}$为$j$指标下第$i$个数值的标准化值，$X_{ij}$为第$i$批样品第$j$个成分含量值，$\min(X_j)$、$\max(X_j)$分别为各成分含量的最小值、最大值；再采用SPSS PRO（https://www.spsspro.com/）计算各指标之间的变异性、冲突性、信息量与权重。结果显示，羊胎盘多肽含量、醇溶性浸出物含量、冻干率的权重系数分别为0.322 6、0.328 1、0.349 3。

表5　正交试验设计方案与结果

试验号	*A*	*B*	*C*	*D*（误差）	羊胎盘多肽含量/（mg/mL）	醇溶性浸出物含量/%	冻干率/%
1	1	1	1	1	4.378	25.0	92.32
2	1	2	2	2	5.477	26.2	90.73
3	1	3	3	3	4.274	23.0	91.64
4	2	1	2	3	4.129	24.6	92.91
5	2	2	3	1	4.025	22.8	92.36
6	2	3	1	2	4.523	19.2	93.84
7	3	1	3	2	4.544	23.2	93.81
8	3	2	1	3	5.871	20.0	91.60
9	3	3	2	1	3.859	24.8	91.67
k_1	86.163	82.207	85.510	79.257			
k_2	79.013	88.910	84.310	86.093			
k_3	84.900	78.960	80.257	84.727			
R	7.150	9.950	5.253	6.836			

注：表中*k*值均按表7中AHP-CRITIC混合加权法所得的综合评分计算。

表6　正交试验方差分析结果

方差来源	偏差平方和	自由度	均方	*F*值	显著性
A	87.371	2	43.686	1.113	0.473
B	154.478	2	77.239	1.967	0.337
C	45.467	2	22.734	0.579	0.633
D（误差）	78.529	2	39.264		

2.5.3　AHP-CRITIC混合加权法确定各指标的综合权重

将AHP法、CRITIC法所得的各指标权重系数，按公式$W_{综合}=W_A\times W_C/(\sum_{i=1}^{m}W_A\times W_C)$[16]计算综合权重系数，式中，$W_A$和$W_C$分别表示AHP法和CRITIC法得到的各指标权重系数。结果显示，羊胎盘多肽含量、醇溶性浸出物含量、冻干率的综合权重系数分别为0.613 7、0.239 9、0.146 4。

2.5.4　正交试验综合评价结果

分别以AHP法、CRITIC法及AHP-CRITIC混合加权法所得的权重系数对正交试验结果进行评分，然后采用SPSS 27.0对评分结果进行相关性分析。结果显示，AHP法与CRITIC法的相关系数为0.899，AHP法与AHP-CRITIC混合加权法的相关系数为1.000，CRITIC法与AHP-CRITIC混合加权法的相关系数为0.901，均有相关性（$P<0.001$）。再采用SPSS 27.0对权重系数进行相关性分析，结果显示，AHP法与CRITIC法的相关系数为－0.796，两者无相关性（$P=0.414>0.05$），表明两种方法所反映的信息不具有叠加性，故最终采用AHP-CRITIC混合加权法对正交试验结果进行综合评分。综合评分（OD）的计算公式为：$OD=(\frac{0.613\,7Y_1}{Y_{1\max}}+$

$\frac{0.239\,9Y_2}{Y_{2\max}}+\frac{0.146\,4Y_3}{Y_{3\max}})\times 100$[17]，式中，$Y_1$、$Y_2$、$Y_3$分别为羊胎盘多肽含量、醇溶性浸出物含量及冻干率，$Y_{1\max}$、$Y_{2\max}$、$Y_{3\max}$分别为对应指标的最大测定值。结果见表7。

表7　3种权重分析法的正交试验综合评分结果

试验号	AHP法	CRITIC法	AHP-CRITIC混合加权法
1	82.83	89.73	83.06
2	95.36	96.68	95.40
3	79.80	86.40	80.03
4	79.91	88.08	80.18
5	77.08	85.05	77.36
6	79.29	83.83	79.50
7	83.17	88.94	83.38
8	94.00	91.40	93.97
9	77.05	86.38	77.35

2.5.5　综合评分结果验证

采用TOPSIS模型验证上述综合评分结果。将正交试验结果按“2.5.2”项下公式进行标准化处理得到归一化矩阵，再结合“2.5.3”项下的综合权重系数构建加权决策矩阵，建立TOPSIS模型并排序，分别按公式$D^+_i=\sqrt{\sum_{i=1}^{j}(R_{ij}-V^+)^2}$、$D^-_i=\sqrt{\sum_{i=1}^{j}(R_{ij}-V^-)^2}$、$C_i=\frac{D_i^-}{D_i^-+D_i^+}$计算正交试验与正理想解的距离（$D^+_i$）、与负理想解的距离（$D^-_i$）和最优解的欧氏贴近度（$C_i$）。$C_i$为0～1的数值，其值越大，表明样品质量越优[18]。结果显示，TOPSIS法所得最优炮制工艺为试验2号，与AHP-CRITIC混合加权法所得OD值最高的试验号一致，提示AHP-CRITIC混合加权法可用于正交试验确定最优炮制工艺。结果见表8。

表8　羊胎盘的质量评价结果

试验号	D^+_i	D^-_i	C_i	排序
1	0.616	0.494	0.445	4
2	0.412	0.798	0.659	1
3	0.714	0.331	0.316	8
4	0.697	0.475	0.405	5
5	0.779	0.328	0.297	9
6	0.718	0.461	0.391	6
7	0.558	0.541	0.493	3
8	0.514	0.793	0.607	2
9	0.833	0.409	0.329	7

2.6　羊胎盘冻干饮片炮制工艺的验证

取羊胎盘，共3份，每份300 g，按“2.4.2”项下最优炮制工艺制备羊胎盘冻干饮片，按“2.2”项下方法测定羊胎盘多肽含量、醇溶性浸出物含量和冻干率，再按“2.5.4”项下公式计算OD。每样品测定3次。结果显示，3批样品的OD分别为96.42、99.18、99.58，RSD为1.75%，表明所得最优炮制工艺可用于羊胎盘冻干饮片的制备。结果见表9。

表9　羊胎盘冻干饮片炮制工艺的验证试验结果（n=3）

序号	羊胎盘多肽含量/(mg/mL)	醇溶性浸出物/%	冻干率/%	OD	RSD/%
1	5.882	24.9	95.25	96.42	
2	5.846	28.5	95.90	99.18	1.75
3	5.921	28.0	96.18	99.58	
平均值	5.883	27.1	95.77	98.39	

3　讨论

真空冷冻干燥技术是近年来较新的炮制干燥方法。相较于传统干燥方法，真空冷冻干燥技术虽然能去除中药饮片中的水分，保留饮片中的有效成分含量，但所需成本较高，多用于贵细中药及动物药的干燥[8]。胎盘多肽为羊胎盘的主要活性成分，在高温条件下结构易被破坏，而利用真空冷冻干燥技术炮制羊胎盘，能避免活性成分变性失活。为保证原料中的液态水分可以在预冻阶段冻结充分，本研究在预冻阶段选择预冻时间为考察指标，并以搁板温度下降至－30 ℃后开始计时；干燥阶段是冻干过程中最重要的阶段，本研究选择了干燥时间和干燥温度为考察指标。结果显示，长时间干燥能充分去除羊胎盘中的水分，整个干燥过程需通过搁板加热提供热量，并在真空状态下将预冻阶段形成的冰晶升华，使水分以气态形式排出，从而达到干燥的目的；同时，为去除物料中的结合水，需持续搁板加热干燥至冻干结束[19]。

本研究除考察羊胎盘的活性成分含量外，还参考现有标准，选择醇溶性浸出物含量、冻干率为考察指标，使得羊胎盘冻干饮片的炮制工艺评价标准更为全面，有助于控制饮片质量。本研究所得最优炮制工艺为预冻时间2 h，干燥时间16 h，干燥温度30 ℃。经验证，所得最优炮制工艺稳定可行，可用于羊胎盘冻干饮片的炮制。

综上所述，本研究成功优化了羊胎盘冻干饮片的炮制工艺，所得最优炮制工艺可为该饮片的质量标准制定及工业化生产提供参考。

参考文献

[1] 甘肃省药品监督管理局. 甘肃省中药材标准：2020年版[M]. 兰州：兰州大学出版社，2021：466-470.
Gansu Medical Products Administration. Gansu province Chinese herbal medicine standard：2020 edition[M]. Lanzhou：Lanzhou University Press，2021：466-470.

[2] 王君旸. 羊胎盘粉的制备及其品质评价[D]. 长春：吉林大学，2018.
WANG J Y. Preparation and quality evaluation of sheep placenta powder[D].Changchun：Jilin University，2018.

[3] 张璐. 本经逢源[M]. 北京：中国中医药出版社，1996：263.
ZHANG L. This scripture meets the original[M]. Beijing：China Press of Chinese Medicine，1996：263.

[4] 青海省药品监督管理局. 青海省藏药材标准：2019年版[M]. 兰州：甘肃民族出版社，2020：57-65.

Qinghai Medical Products Administration. Tibetan medicine standard promulgated by Qinghai province: 2019 edition[M]. Lanzhou: Gansu Ethnic Publishing House, 2020:57-65.

[5] 贺延超,李耕冬. 彝医动物药[M]. 成都:四川民族出版社,1986:271.
HE Y C, LI G D. Yi medicine animal medicine[M]. Chengdu: Sichuan Nationalities Publishing House, 1986:271.

[6] 国家中医药管理局,《中华本草》编委会. 中华本草:9[M]. 上海:上海科学技术出版社,2002:724.
National Administration of Traditional Chinese Medicine, *Chinese Materia Medica* Editorial Committee. Chinese materia medica: 9[M]. Shanghai: Shanghai Scientific and Technical Publishers, 2002:724.

[7] 娄悦,苏雪蓉,毛春芹,等. Box-Behnken响应面实验优化鳖血冻干粉的制备工艺[J]. 中国药房,2023,34(13):1573-1576.
LOU Y, SU X R, MAO C Q, et al. Optimization of the preparation process of Soft-shelled turtle blood lyophilized powder using Box-Behnken response surface methodology[J]. China Pharm, 2023, 34(13): 1573-1576.

[8] 刘松雨,黄勤挽,吴纯洁,等. 冷冻干燥技术在中药领域的研究进展[J]. 中草药,2022,53(3):930-936.
LIU S Y, HUANG Q W, WU C J, et al. Research progress on freeze-drying technology in field of traditional Chinese medicine[J]. Chin Tradit Herb Drugs, 2022, 53(3): 930-936.

[9] 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.
HUANG L, YANG L, JIN K, et al. Optimization of processing technology and color correlation analysis of honey-fried *Lilii Bulbus* based on AHP-CRITIC comprehensive weighting method combined with response surface method[J]. Chin Tradit Herb Drugs, 2024, 55(18): 6174-6185.

[10] 赵亚丽,张斯琪,鲁文茜,等. 基于多指标权重分析和正交设计法优选如意金黄散复方提取工艺[J]. 中国新药杂志,2021,30(15):1428-1434.
ZHAO Y L, ZHANG S Q, LU W X, et al. Exploration on extraction processes of compound Ruyi jinhuang powder based on orthogonal design and multi-index weight analysis[J]. Chin J N Drugs, 2021, 30(15): 1428-1434.

[11] PAN B H, LIU S R, XIE Z J, et al. Evaluating operational features of three unconventional intersections under heavy traffic based on CRITIC method[J]. Sustainability, 2021, 13(8): 4098.

[12] 姚文燕,刘宸,张国彦,等. 变异系数法-AHP复合加权联用TOPSIS模型优选白附片降毒增效炮制工艺[J]. 中国现代中药,2024,26(4):685-694.
YAO W Y, LIU C, ZHANG G Y, et al. Optimization of processing parameters of Baifupian for detoxicating and effect enhancing by combining coefficient of variation method with AHP composite weighting and TOPSIS model[J]. Mod Chin Med, 2024, 26(4): 685-694.

[13] 高闪闪. 奶山羊胎盘抗氧化多肽制备及其功能活性研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2017.
GAO S S. Preparation and functional activity of antioxidant polypeptide from placenta of dairy goat[D]. Yangling: Northwest A & F University, 2017.

[14] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典:四部[S]. 2020年版. 北京:中国医药科技出版社,2020:202.
National Pharmacopoeia Commission. Chinese pharmacopoeia: part Ⅳ[S]. 2020 edition. Beijing: China Medical Science and Technology Press, 2020:202.

[15] 石召华,陈立军,黄文芳,等. 七叶皂苷钠冻干粉针的工艺优化研究[J]. 中药材,2014,37(7):1265-1269.
SHI Z H, CHEN L J, HUANG W F, et al. Optimization of process of Sodium aescinate lyophilized powder[J]. J Chin Med Mater, 2014, 37(7): 1265-1269.

[16] 吴作敏,于晓涛,王韵旨,等. AHP-CRITIC法结合正交设计优化红黄丹酊提取工艺[J]. 食品与药品,2023,25(6):488-493.
WU Z M, YU X T, WANG Y Z, et al. Optimization of extraction process of Honghuangdan tincture based on AHP-CRITIC weighting analysis combined with orthogonal design[J]. Food and Drug, 2023, 25(6): 485-493.

[17] 罗薏,祝婧,刘璐,等. 变异系数法-AHP综合加权联用星点设计-效应面法优选樟帮特色炮制辅料蜜麸制备工艺[J]. 时珍国医国药,2023,34(2):341-344.
LUO Y, ZHU J, LIU L, et al. Variation coefficient method-AHP combined with star point design-response surface method was used to optimize the preparation process of honey bran with special processing excipients[J]. Lishizhen Med Mater Med Res, 2023, 34(2): 341-344.

[18] 朱文婷,陆美霞,黄瑶洁,等. 蜜糠炒苍术炮制工艺优选及其抗胃溃疡作用研究[J]. 中国药房,2023,34(18):2213-2218.
ZHU W T, LU M X, HUANG Y J, et al. Study on the optimization of processing technology of honey bran-fried Atractylodis Rhizoma and its anti-gastric ulcer effect[J]. China Pharm, 2023, 34(18): 2213-2218.

[19] 邱勋荣,李玉姗,万琴,等. 真空冷冻干燥对中药材质量的影响与调控技术研究进展[J]. 中草药,2024,55(4):1377-1388.
QIU X R, LI Y S, WAN Q, et al. Research progress on effect of vacuum freeze-drying on quality of Chinese herbal medicine and its regulation technology[J]. Chin Tradit Herb Drugs, 2024, 55(4): 1377-1388.

(收稿日期:2024-05-30 修回日期:2024-10-19)
(编辑:陈 宏)