响应面法优化穿虎祛痛颗粒浸膏的真空带式干燥工艺

郭田甜[1,2]，毕艳艳[1,2]，刘　鹏[1]，周金成[1]，张　兰[1,2]，王立友[1,2]，房兆营[2,3]，王常棋[1,2]，范建伟[1,2*]，关永霞[1,2*]

1. 鲁南厚普制药有限公司，山东 临沂　276000
2. 鲁南制药集团股份有限公司 经方与现代中药融合创新全国重点实验室，山东 临沂　276000
3. 鲁南贝特制药有限公司，山东 临沂　276000

摘　要：目的　使用带式真空干燥机对穿虎祛痛颗粒浸膏进行干燥工艺优化。**方法**　将单因素实验法和响应面法结合，确定考察浸膏相对密度、履带速率、第 2 段加热温度和布料速度 4 个影响因素，并采用 Hassan 法对提取物干浸膏转移率和大黄素转移率进行归一化处理后的综合评分作为考察指标，优化穿虎祛痛提取物的带式真空干燥工艺。**结果**　优化后的工艺参数为相对密度 1.26、履带速率 110 mm/min，第 2 段加热温度 95 ℃、布料速度 1.7 L/h。**结论**　所得真空带式干燥工艺耗时短、效率高，工艺稳定，可操作性强，为穿虎祛痛颗粒提取物的干燥工艺研究提供支持。

关键词：穿虎祛痛颗粒浸膏；响应面法；真空带式干燥；相对密度；履带速率；二段加热温度；布料速度

中图分类号：R284.2　　**文献标志码：**A　　**文章编号：**1674 - 5515(2026)10 - 2807 - 07

DOI: 10.7501/j.issn.1674-5515.2026.10.007

Optimization of belt vacuum drying process for Chuanhu Qutong Granule extract

GUO Tiantian[1,2], BI Yanyan[1,2], LIU Peng[1], ZHOU Jincheng[1], ZHANG Lan[1,2], WANG Liyou[1,2], FANG Zhaoying[2,3], WANG Changqi[1,2], FAN Jianwei[1,2], GUAN Yongxia[1,2]

1. Lunan Houpu Pharmaceutical Co., Ltd., Linyi 276000, China
2. State Key Laboratory of Integration and Innovation of Classic Formula and Modern Chinese Medicine, Linyi 276000, China
3. Lunan Beite Pharmaceutical Co., Ltd., Linyi 276000, China

Abstract: Objective　To optimize the drying process of Chuanhu Qutong Granules extract using belt vacuum drying process. **Methods** By combining single factor test method and response surface methodology, four influencing factors were determined to investigate the relative density of the extract, track speed, two-stage heating temperature, and fabric speed. The Hassan method was used to normalize the comprehensive scores of the dry extract transfer rate and emodin transfer rate as the evaluation indicators to optimize the belt vacuum drying process of Chuanhu Qutong extract. **Results**　The optimized process parameters were relative extract density of 1.26, track speed of 110 mm/min, two-stage heating temperature of 95 ℃, and fabric speed of 1.7 L/h. **Conclusion**　The vacuum belt drying process obtained has the advantages of short time consumption, high efficiency, stable process, and strong operability, providing support for the research on the drying process of Chuanhu Qutong Granules extract.

Key words: Chuanhu Qutong Granules extract; response surface methodology; belt vacuum drying; relative density; track speed; two-stage heating temperature; fabric speed

痛风是一种晶体性关节病，其形成是由机体嘌呤代谢紊乱，血尿酸排泄减少，从而引起血尿酸水平升高，使得单钠尿酸盐晶体析出、沉积引起的。在我国乃至全球其患病率呈上升趋势[1-2]。由于急性痛风性关节炎的反复发作，会造成痛风石沉积，从而加重关节破坏，使得患者关节功能受限[3]。穿虎祛痛颗粒是以中医理论为指导，结合临床多年治疗痛风性关节炎的经验研制而成的中药复方制剂[4]，

收稿日期：2026-07-06

基金项目：泰山产业领军人才工程专项（tscx202507100）；山东省重点研发计划（竞争性创新平台）项目（2024CXPT074）

作者简介：郭田甜，女，高级工程师，研究方向为新药研发与工艺优化。E-mail: 864169891@qq.com

***通信作者：**范建伟，男，正高级工程师，研究方向为中药研发与质量控制。E-mail: 13573947373@163.com

关永霞，女，正高级工程师，从事中药新药研发。E-mail: 13581069215@163.com

具有祛风除湿、通络清热之功效，用于痛风性关节炎急性期，属湿热蕴结证。在药品制剂过程中，干燥是必不可少的单元操作之一。中药提取浸膏具有黏性大，难干燥等特点，常用的干燥方法在干燥过程中会出现所需干燥时间长、物料因受热不均匀而造成品质下降等问题[5-7]。在干燥过程中带式真空干燥箱可以自动调控真空度，使物料在干燥初始阶段达到起泡－消泡的平稳状态，从而使物料进行平缓的干燥过程，同时带式干燥的使用可以使物料均匀受热，干燥后的物料也会疏松多孔，容易粉碎[8]。为明确真空带式干燥箱干燥工艺条件，本研究采用单因素和响应面分析法对穿虎祛痛颗粒提取浸膏带式真空干燥的工艺进行优化，结果工艺耗时短、效率高，工艺稳定，可操作性强，为工业化生产提供参考。

1 仪器与材料

BPA121 型电子天平，TCS-30 型电子天平（梅特勒－托利多有限公司）；GZX-9240MBE 型电热鼓风干燥箱（上海博迅实业有限公司医疗设备厂）；MS1003TS02 型电子天平、Acquity Arc 型高效液相色谱仪（北京赛默飞科技有限公司）；DFY600C 摇摆式高速粉碎机（温岭市林大机械有限公司）；ZSH-100B 型恒温恒湿箱（上海侦翔机电科技有限公司）；100L 多功能提取罐，BVD205 真空带式干燥机（温州市金榜轻工机械有限公司）。

穿山龙、虎杖、忍冬藤、威灵仙、土茯苓、防风、川芎、川牛膝、薏苡仁、甘草药材来源于鲁南厚普制药有限公司，经鲁南厚普制药有限公司范建伟正高级工程师鉴定，基源均符合《中国药典》2025 年版要求。大黄素对照品（中国食品药品检定研究院，批号 210116107H，质量分数 99.5%）；甲醇为色谱纯；水为超纯水。

2 方法与结果

2.1 浸膏的制备

取处方量穿山龙、虎杖、忍冬藤、威灵仙、土茯苓、防风、川芎、川牛膝、薏苡仁、甘草，加水煎煮 2 次，煎液滤过，滤液浓缩后静置，离心，离心液继续减压浓缩至所需密度的浸膏，以生药量计滤液质量浓度约 0.33 g/mL，加入淀粉适量，备用。

2.2 真空带式干燥方法

带式干燥机带长为 5.5 m，设置真空度 1 900～2 200 Pa。有 4 段加热带，可以分别设置温度。第 1 段对物料进行预热，第 2、3 段为物料干燥阶段，第 4 段为干燥后降温阶段。其中第 2 段对物料干燥影响较大。

穿虎祛痛颗粒浸膏带式真空干燥过程为：干燥机内室达到设定真空度数值后，分别设置好 4 段加热带所对应的温度、履带速率和布料电机的布料速率，将浓缩至所需密度的浸膏加热至 37 ℃，置于带式干燥机的料斗中布料，待物料干燥后收料。

2.3 干浸膏转移率

干燥后实际收取的干浸膏质量作为得到的干浸膏量，湿浸膏中含有的理论干浸膏质量作为浸膏中理论干浸膏量，计算干浸膏转移率。

干浸膏转移率＝得到的干浸膏量/浸膏中理论干浸膏量

2.4 大黄素的 HPLC 法测定

2.4.1 色谱条件 采用安捷伦 Zorbax SB C_{18} 色谱柱，以甲醇－0.1%磷酸溶液（80∶20）为流动相，检测波长 254 nm。理论板数按大黄素峰计应不低于 3 000。

2.4.2 对照品溶液的制备 取大黄素对照品适量，精密称定，加甲醇制成 30 μg/mL 的溶液，即得。

2.4.3 供试品溶液的制备 取穿虎祛痛颗粒浸膏适量，研细，取约 1.6 g，精密称定，置具塞锥形瓶中，加入水 10 mL，超声（功率 100 W、频率 40 kHz）30 min，放冷，精密加入三氯甲烷 25 mL 和 2.5 mol/L 盐酸溶液 10 mL，密塞，称定质量，置 80 ℃水浴中加热回流 2 h，冷却至室温，再称定质量，用三氯甲烷补足减失的质量，摇匀。分取三氯甲烷液，精密量取 10 mL，蒸干，残渣加甲醇使溶解，转移至 25 mL 量瓶中，加甲醇稀释至刻度，摇匀，滤过，取续滤液，即得。

2.4.4 线性关系考察 分别量取不同体积大黄素对照品溶液，进样检测，以进样质量浓度为横坐标，峰面积为纵坐标，绘制标准曲线，得回归方程 Y＝22 040 028.388 1 X－35 592.733 6，r＝0.999 4，结果大黄素在 3.686～88.464 μg/mL 线性关系良好。

2.4.5 精密度试验 精密吸取 5 μL 大黄素对照品溶液，重复操作 6 次，结果显示大黄素的峰面积 RSD 值为 0.29%。

2.4.6 稳定性试验 穿虎祛痛颗粒浸膏供试品溶液分别于不同时间点（0、2、4、8、12、24 h）取样进行检测，记录各次的大黄素峰面积，计算得 RSD 值为 1.28%，表明在溶液在 24 h 内稳定性良好。

2.4.7 重复性试验 对同一批穿虎祛痛颗粒浸膏样品取 6 份，精密称定后，制备供试品溶液，进样

测定大黄素峰面积，计算得大黄素质量分数的 RSD 值为 1.96%。

2.4.8　回收率试验　精密称定同一批样品 6 份，每份 0.8 g，加入一定量的大黄素对照品溶液，制备供试品溶液，进样测定，记录峰面积，计算得平均回收率为 93.5%，RSD 值为 1.82%。

2.4.9　测定法　分别精密吸取大黄素对照品溶液和穿虎祛痛颗粒浸膏供试品溶液各 5 μL，进样测定，采用外标法计算大黄素的质量浓度。

2.5　大黄素转移率定义

大黄素转移率即干燥后穿虎祛痛颗粒干浸膏中所含大黄素总量与干燥前浸膏中所含大黄素总量之比，转移率高即损失量少。

2.6　综合评分计算方法

以穿虎祛痛颗粒提取物的干浸膏转移率（Y_1）、大黄素转移率（Y_2）两项指标的综合评分作为穿虎祛痛提取浸膏带式干燥工艺评价标准，用 Hassan 方法[9]进行数学转换，按 0～1 进行标准归一化处理，按公式（1）～（3）计算几何平均数得总评归一（OD）值，即综合评分。

$$d_{max}=(Y_i-Y_{min})/(Y_{max}-Y_{min}) \quad (1)$$

$$d_{min}=(Y_{max}-Y_i)/(Y_{max}-Y_{min}) \quad (2)$$

$$OD=(d_1d_2\cdots\cdots d_k)^{1/k} \quad (3)$$

d_{max} 为取值越大评价指标越好的因素，d_{min} 为取值越小评价指标越好的因素，Y_{min} 为该评价指标的最小值，Y_{max} 为该评价指标的最大值，k 为指标数。

2.7　单因素试验设计和结果

经预实验确定了穿虎祛痛提取物浸膏使用带式干燥机主要影响因素分别为浸膏相对密度、加热温度、履带速率、布料速度 4 项，试验中固定第 1 段加热温度为 95 ℃、第 3 段加热温度为 85 ℃，第 4 段加热温度为 25 ℃，改变第 2 段加热温度考察其对干燥结果的影响。从预实验结果可以得到以上 4 个影响因素的参数范围，浸膏相对密度为 1.18～1.30 g/mL，第 2 段加热温度为 85～105 ℃，履带速率 90～130 mm/min，布料速率 1.5～1.9 L/h，参照以上各因素参数范围设计单因素试验，进行单因素试验时，固定另外 3 个因素不变且都取参数的中间值，依次将浸膏相对密度、加热温度、履带速率、布料速度作为考察因素，分别选取 3 个水平来研究对综合评分的影响。

2.7.1　浸膏相对密度的考察　以浸膏相对密度作为考察因素时，随着提取浸膏相对密度的增大，OD 值的变化趋势先增大后减小，提取浸膏密度为 1.24 g/mL 时，综合评分的分值最高，见表 1。出现这种变化趋势可能是因为提取浸膏相对密度低时，物料所需的干燥时间较长，物料水分含量偏高，干膏不易脱离履带，然而当提取浸膏密度太大时，物料内部的水分难以挥出，水分含量高，干燥效果差，密度较高时则料斗内残留的湿物料增多同时履带上的干膏有部分难以剥离，可能是 OD 值减小的原因。

表 1　不同相对密度对 OD 值的影响

Table 1　Effects of different densities on OD

相对密度	OD 值
1.18	0.621
1.21	0.732
1.24	0.864
1.27	0.821
1.30	0.708

2.7.2　第 2 段加热温度的考察　二段加热温度为 95 ℃时，OD 值最高，见表 2。可能是因为二段加热温度低时干膏水分偏低，而温度过高时大黄素转移率降低，从而造成 OD 值降低。

表 2　不同温度对 OD 值的影响

Table 2　Effects of different temperatures on OD

第 2 段加热温度/℃	OD 值
85	0.646
90	0.778
95	0.818
100	0.784
105	0.743

2.7.3　不同履带速率的考察　履带速率为 110 mm/min 时，OD 值最高，见表 3。可能是履带速率变大时经干燥后的干膏水分含量偏高，物料难以剥离；履带速率减慢时，加热时间相对延长，大黄素含量减少，同时因布料速度一定，履带速率过慢时，会造成浸膏沿履带侧边外漏，干物质转移率减小。当履带速率设定为 110 mm/min 时最佳，可以作为响应面试验设计范围的参考值。

2.7.4　布料速度的考察　由布料速度实验结果可以观察到，随着布料速度变大，OD 值先增大后减小，布料速度为 1.7 L/h 时 OD 值最高，见表 4。分析原因可能是布料速率大时，单位面积物料量增多，干燥速率减慢，水分含量偏高，同时，也可能

表 3 不同履带速率对 OD 值的影响

Table 3 Effects of different track speeds on OD

履带速率/(mm·min^{-1})	OD 值
90	0.501
100	0.720
110	0.873
120	0.633
130	0.439

造成浸膏沿履带侧边外漏，从而造成 OD 值降低，若布料速度太慢会导致履带上物料层太薄，出料时物料不容易与履带分离，造成物料浪费，大黄素转移率显著降低，同时干燥后物料水分偏低，不利于后续制粒工艺。

表 4 不同布料速度对 OD 值的影响

Table 4 Effects of different fabric speeds on OD

布料速度/(L·h^{-1})	OD 值
1.5	0.501
1.6	0.720
1.7	0.873
1.8	0.633
1.9	0.439

由单因素试验结果确定 OD 值最高的各因素取值，此基础上取上下浮动 3 个水平进行后续响应面分析试验。

2.8 响应面试验设计

分析单因素试验结果，并参考响应面试验设计原理，确定浸膏相对密度（A）、履带速率（B）、二段加热温度（C）和布料速度（D）为影响因素，以 OD 值为响应值，每个因素选定 3 个水平，试验因素与水平设计方案见表 5。

表 5 因素水平

Table 5 Factors and level

水平	因素			
	A	B/(mm·min^{-1})	C/℃	D/(L·h^{-1})
−1	1.21	90	100	1.6
0	1.24	95	110	1.7
1	1.27	100	120	1.8

对试验数据进行分析处理，采用的软件是 Excel 软件和 Design Expert 10.0，将每个样品重复 3 次，取其平均值。

2.9 响应面试验设计和结果

响应面试验方案和结果见表 6。采用二次响应面回归分析法对试验数据进行分析[10-11]，可以得到各因变量和综合评分的模拟方程，所得到的模拟方程为 $Y=0.88-0.037\ X_A+0.039\ X_B+0.032\ X_C-0.078\ X_D-0.071\ X_AX_B-0.021\ X_AX_C+0.17\ X_AX_D+0.054\ X_BX_C-0.093\ X_BX_D+0.056\ X_CX_D-0.23\ X_A^2-0.23\ X_B^2-0.23\ X_C^2-0.42\ X_D^2$。

2.10 回归模型显著性检验和方差分析

当 $P<0.001$ 时，回归模型处在极显著水平，由表 7 中的数据可知，该模型显著回归，计算后所得到的模拟方程能够正确呈现出 OD 值和各因素的关系[5]。表中多元相关系数 R^2 为 0.869 9，足以说明预测值与实测值之间的拟合度很高。失拟项 P 值（0.061 1）＞0.05，极不显著，表明该回归模型预测精准度较高。根据 F 值越大，表明所对应的因素对 OD 值影响越大。由此可以判断，影响 OD 值的主次顺序为：布料速度＞履带速率＞浸膏相对密度＞二段加热温度。

2.11 响应曲面及等高线分析

从响应面图和等高线图中可以明显的观察到各因素交互作用对穿虎祛痛颗粒提取物经带式真空干燥后综合评分的影响，见图 1。可以看出，浸膏相对密度与布料速度的交互作用对综合评分的影响与相对密度与二段加热温度组比较更显著，这与二次回归模型方差分析结果一致。各组中两因素的交互作用均在水平 0 左右时取得峰值，这可能是因为当浸膏相对密度、履带速率、二段加热温度、布料速度取值过低或过高时，会造成浸膏侧漏、物料粘履带、物料水分偏高或大黄素转移率降低。

响应面得到该模型最优解，即相对浸膏密度为 1.26，履带速率 109.5 mm/min，第 2 段加热温度为 95.2 ℃，布料速度为 1.708 L/h。根据实际生产条件优化工艺参数为相对浸膏密度为 1.26，履带速率 110 mm/min，第 2 段加热温度为 95 ℃，布料速度为 1.7 L/h。

2.12 验证试验

制备 3 批穿虎祛痛提取浸膏，根据响应面和实际生产条件优选出的工艺条件，对这 3 批浸膏进行干燥，结果见表 8。

经真空带式干燥的大黄素平均转移率为 89.9%，3 批实验的 OD 值的 RSD 为 1.64%，工艺

表 6　响应面试验方案及结果

Table 6　Response surface test scheme and results

试验号	A	B/(mm·min^{-1})	C/℃	D/(L·h^{-1})	干浸膏转移率/%	大黄素转移率/%	OD 值
1	−1	1	0	0	79.8	78.6	0.456
2	0	0	−1	−1	68.8	71.7	0.107
3	1	0	0	1	76.6	74.3	0.300
4	0	1	0	−1	84.7	81.2	0.598
5	0	0	1	−1	70.0	71.1	0.118
6	1	−1	0	0	74.4	74.9	0.28
7	1	0	1	0	82.1	79.6	0.518
8	0	1	1	0	77.5	84.5	0.524
9	−1	0	0	−1	87.8	80.1	0.618
10	0	−1	0	−1	78.1	71.9	0.245
11	1	1	0	0	70.2	75.4	0.200
12	0	0	−1	1	66.4	68.6	0.000
13	−1	−1	0	0	71.8	76.2	0.252
14	0	−1	1	0	79.5	77.0	0.413
15	0	1	0	1	72.8	69.8	0.109
16	−1	0	0	1	71.8	69.9	0.104
17	0	−1	0	1	70.1	71.4	0.127
18	0	0	0	0	92.2	91.8	0.964
19	1	0	0	−1	70.5	71.1	0.126
20	0	−1	−1	0	81.1	82.1	0.555
21	−1	0	1	0	80.1	81.3	0.52
22	0	0	0	0	90.2	92.1	0.932
23	1	0	−1	0	77.9	80.2	0.455
24	−1	0	−1	0	74.4	79.7	0.371
25	0	0	1	1	75.9	72.3	0.234
26	0	0	0	0	88.7	86.8	0.794
27	0	0	0	0	89.8	89.2	0.865
28	0	1	−1	0	81.2	77.5	0.452
29	0	0	0	0	87.8	89.7	0.837

比较稳定。经真空干燥箱干燥后的浸膏，其大黄素转移率比使用带式真空干燥箱的转移率略低 86.4%，但需要的时间很长。一般从浸膏入箱到收料使用真空干燥箱需要约 20 h，而使用带式真空干燥箱干燥，从浸膏入箱到收料需要 2～3 h。此干燥方法的使用可以大大缩短干燥时间，减小车间生产劳动强度，为车间大批量生产提高生产效率。

3　讨论

在中药提取工艺中，干燥是重要的环节之一。干燥后的提取物有效成分含量、水分等直接影响后续制粒等制剂成型的难易程度，也会影响成品的品质。有些药材含有热敏感性成分，像金银花药材中的绿原酸，人参中的人参皂苷等，在温度偏高或受热时间长时，容易分解。因此，此类药材的提取物在干燥时会对干燥温度和干燥时间提出更高的要求。真空带式干燥机的使用可以克服微波干燥箱局部温度高使得药物品质降低、箱式真空干燥箱容易出现物料飞溅以及干燥时间长等的缺点[12]。真空带

表 7 响应面二次回归模型方差分析

Table 7 Response surface quadratic regression model analysis of variance

方差来源	平方和	自由度	均方	F	P
模型	1.831	14	0.131	6.687	0.000 5
X_A	0.016	1	0.016	0.832	0.377 1
X_B	0.018	1	0.018	0.929	0.351 5
X_C	0.012	1	0.012	0.638	0.437 8
X_D	0.073	1	0.073	3.748	0.073 3
X_AX_B	0.020	1	0.020	1.031	0.327 2
X_AX_C	0.002	1	0.002	0.095	0.763 0
X_AX_D	0.118	1	0.118	6.049	0.027 5
X_BX_C	0.011	1	0.011	0.585	0.457 0
X_BX_D	0.034	1	0.034	1.759	0.206 0
X_CX_D	0.012	1	0.012	0.636	0.438 6
X_A^2	0.356	1	0.356	18.200	0.000 8
X_B^2	0.352	1	0.352	17.987	0.000 8
X_C^2	0.331	1	0.331	16.922	0.001 1
X_D^2	1.164	1	1.164	59.480	＜0.000 1
残差	0.274	14	0.020		
失拟项	0.255	10	0.025	5.300	0.061 1
误差项	0.019	4	0.005		
总和	2.105	28	0.131		

R^2＝0.869 9，R^2_{Adj}＝0.739 8

式干燥机通过真空自动调节，既能最大程度的保留提取物的有效成分，又能节省干燥时间，减少工作人员的劳动强度，减少生产成本[13]。响应面法的使用可以对实验的各个水平进行连续地分析，本研究选取了干燥过程中影响较大的 4 个影响因素，并选取大黄素转移率和浸膏转移率作为评价指标，可以直观地反映出干燥后干膏的有效成分损失情况以及提取物水分是否符合后续制粒的要求。

穿虎祛痛颗粒对风湿性关节炎具有较好的疗效，然而，关于穿虎祛痛颗粒的工艺研究较少。本研究针对穿虎祛痛颗粒提取物浸膏带式真空干燥步骤结合 Hassan 法、响应面法优选出最佳干燥工艺，采用优选出的最佳工艺条件对 3 批提取物进行干燥。采用响应面法对穿虎祛痛颗粒提取物干燥工艺进行优化，并根据实际车间生产条件，将优选出的工艺调整为相对浸膏密度为 1.26，履带速率 95 mm/min，第 2 段加热温度为 110 ℃，布料速度为 1.7 L/h。经优化后的工艺条件干燥后的提取物具有

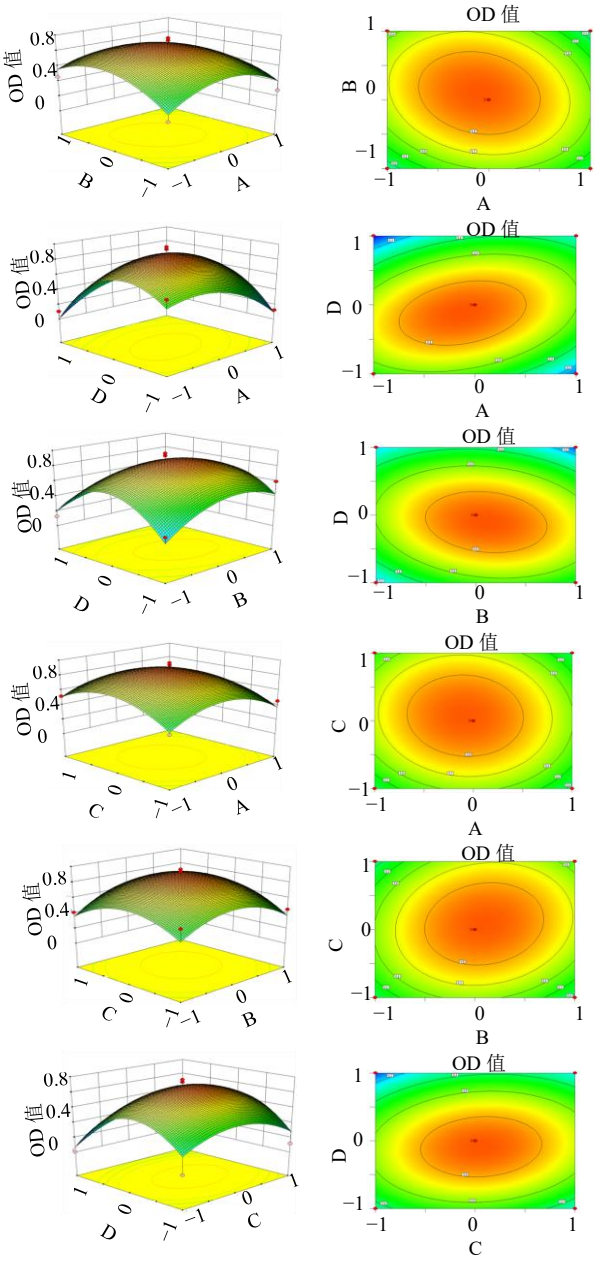


图 1 响应面试验结果

Fig. 1 Response surface test results

表 8 验证试验结果

Table 8 Validation test results

批号	干浸膏转移率/%	大黄素转移率/%	OD 值
210416	90.9	90.0	0.902
210419	90.2	89.2	0.873
210423	89.6	90.4	0.886

芳香气味，色泽自然，疏松多孔，有效成分转移率高，干燥工艺科学合理，稳定可行，可以为穿虎祛

痛颗粒的干燥工艺研究提供支持。

利益冲突　所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

[1] 尹海波, 赵紫琴, 徐丽娜, 等. 痛风合并假痛风的流行病学和影像学表现以及结晶共存机制探讨 [J]. 实用检验医师杂志, 2026, 18(2): 188-192.

[2] 吕朝晖, 胡晓东. 痛风流行病学特征及其危险因素的研究进展 [J]. 解放军医学杂志, 2026, 51(8): 1159-1167.

[3] 张欣雅, 赵雪萍, 杨乐, 等. 中医药干预痛风性关节炎骨破坏的研究进展 [J]. 上海中医药大学学报, 2026, 40(4): 11-20.

[4] 蔡湾, 范建伟, 李艳芳, 等. 基于指纹图谱、网络药理学及体外细胞实验验证穿虎祛痛颗粒质量标志物 [J]. 世界中医药, 2025, 20(9): 1450-1457.

[5] 万琴, 高欢, 齐娅汝, 等. 中药浸膏干燥技术及干燥机制的研究进展与发展趋势 [J]. 中草药, 2023, 54(23): 7884-7894.

[6] 詹娟娟, 伍振峰, 尚悦, 等. 中药浸膏干燥工艺现状及存在的问题分析 [J]. 中草药, 2017, 48(12): 2365-2370.

[7] 唐欣, 李远辉, 谢好, 等. 中药浸膏真空干燥过程中表面结壳行为的成因、影响因素与研究策略 [J]. 中草药, 2022, 53(2): 619-626.

[8] 苏红宁, 王玉峰, 李淳瑞, 等. 连花清瘟胶囊带式真空干燥工艺优化研究 [J]. 中国药房, 2015, 26(7): 964-966.

[9] 吴伟, 崔光华, 陆彬. 实验设计中多指标的优化:星点设计和总评“归一值”的应用 [J]. 中国药学杂志, 2000(8): 26-29.

[10] 包秀萍, 白兴, 胡昕茹, 等. 响应面法优化微波辅助萃取紫金蝉茶香料浸膏的工艺 [J]. 中国食品添加剂, 2023, 34(1): 265-271.

[11] 王晓婧, 杨倩, 白博涛, 等. 响应面法结合模糊数学优化复合枣醋醋酸发酵工艺 [J]. 中国调味品, 2023, 48(1): 145-151.

[12] 吴励萍, 卢有媛, 李海洋, 等. 不同干燥方法对枸杞子药材多类型功效成分的影响及其分析评价 [J]. 中草药, 2022, 53(7): 2125-2136.

[13] 武景路, 张丽丽, 孟金硕, 等. 正交试验优化金银花提取物的真空带式干燥工艺的研究 [J]. 现代药物与临床, 2015, 30(2): 141-144.

[责任编辑　解学星]