陈皮配方颗粒提取工艺的优化

黎桃敏，彭帮贵，张兰兰，何荣荣，刘燎原*
（广东一方制药有限公司，广东省中药配方颗粒企业重点实验室，广东佛山 528244）

摘要：利用 Box-Behnken 设计 - 响应面法，以煎煮时间、加水量、煎煮次数为考察因素，设计三因素三水平试验。通过层次分析法（AHP）、熵权法和 AHP 结合熵权法分别对评价指标，即出膏率以及芸香柚皮苷、橙皮苷、川陈皮素和橘皮素的含量赋予权重。然后以上述 5 个指标的综合评分为评价指标，优选陈皮配方颗粒的提取工艺。结果表明，优化提取工艺参数为：加 14 倍量水、煎煮 3 次、每次 60 min。验证试验表明，该提取工艺稳定、简单、可行，可为陈皮配方颗粒的制剂工艺研究提供参考。

关键词：陈皮配方颗粒；Box-Behnken设计；响应面法；层次分析法；熵权法；权重；提取
中图分类号：R944.2^{+}7　　**文献标志码**：A　　**文章编号**：1001-8255(2023)08-1241-06
DOI：10.16522/j.cnki.cjph.2023.08.014

Optimization of Extraction Process for Tangerine Peel Formula Granules

LI Taomin, PENG Banggui, ZHANG Lanlan, HE Rongrong, LIU Liaoyuan*
(*Guangdong Provincial Key Lab. of Traditional Chinese Medicine Formula Granule, Guangdong Yi Fang Pharmaceutical Co., Ltd., Foshan 528244*)

ABSTRACT: A three-factor and three-level experiment was conducted with decoction time, adding amount of water and decocting times as the independent variables by Box-Behnken design combined with response surface methodology. The weights for evaluating indexes, namely the extraction yield and the contents of narirutin, hesperidin, nobiletin and tangeretin were calculated by analytic hierarchy process (AHP), entropy weight method and the combination of AHP and entropy weight method, respectively. Then, the comprehensive score of the above 5 indicators was used as the evaluation index to optimize the extraction process parameters of tangerine peel formula granules. The results showed that the optimized extraction process parameters were as follows: adding 14 times of the amount of water, decocting 3 times, and 60 min per extraction. The results of verification test showed that the extraction process was stable, simple and feasible, which could provide a reference for the preparation process study of tangerine peel formula granules.

Key Words: tangerine peel formula granule; Box-Behnken design; response surface method; analytic hierarchy process; entropy weight method; weight; extraction

陈皮为芸香科植物橘（*Citrus reticulata* Blanco）及其栽培变种的干燥成熟果皮，味苦、辛，性温，具有理气健脾、燥湿化痰的功效，可用于治疗脘腹胀满、咳嗽痰多等症；主产于广东、四川、浙江和福建等地区，是岭南著名的药食同源药材[1—2]。现代研究表明，陈皮中含有的化学成分有黄酮类、芳香酸类、生物碱类、萜类与挥发油等，药理作用主要包括降血脂、调节胃肠平滑肌运动、化痰、抗肿瘤和保肝等[2—5]。

陈皮的主要活性成分为黄酮类[2]，包括橙皮苷（hesperidin，**2**）、川陈皮素（nobiletin，**3**）和橘皮素（tangeretin，**4**）等[6]。柑橘类黄酮具抗炎、抗氧化、调血脂等作用[7]，因此陈皮的临床效果与其黄酮类

收稿日期：2022-06-30
基金项目：佛山市新冠肺炎科技攻关项目(2020001000206)
作者简介：黎桃敏(1996—)，女，本科，从事中药配方颗粒与经典名方制备工艺研究。
通信作者：刘燎原(1965—)，男，本科，副主任中药师，从事中药制剂工艺与质量控制研究。
E-mail：99263@163.com

成分含量密切相关，能否有效将其提取出来对陈皮的质量控制意义重大。陈皮配方颗粒是由陈皮饮片经水提、分离、浓缩、干燥、制粒而成的颗粒，提取工艺是影响陈皮配方颗粒质量的关键工序。故本研究采用 Box-Behnken 设计 - 响应面法，以出膏率，以及芸香柚皮苷（narirutin，**1**）、**2**、**3** 和 **4** 含量的综合加权评分为评价指标，优选陈皮配方颗粒的提取工艺，旨在为陈皮配方颗粒的制剂研究提供依据。

1　仪器与试药

Thermo Vanquish 型超高效液相色谱仪（美国 Thermo Fisher 科技公司）；XP26 型百万分之一天平、ME204E 型万分之一天平（瑞士 Mettler Toledo 公司）；JJ2000B 型百分之一天平（常熟市双杰测试仪器厂）；Milli-Q Direct 型超纯水系统（德国 Merck 公司）；KQ-500DE 型数控超声波清洗器（昆山市超声仪器有限公司）；DHG-9146A 型电热恒温鼓风干燥箱（上海精宏实验设备有限公司）。

陈皮药材（产地为浙江，批号 YL2103011）购自浙江一方制药有限公司，经本公司魏梅主任药师鉴定为芸香科植物橘 *Citrus reticulata* Blanco 的干燥成熟果皮；**1** 对照品（含量≥ 98%，批号 wkq19041908）和 **3** 对照品（含量≥ 98%，批号 wkq20031701）购自四川省维克奇生物科技有限公司；**2** 对照品（含量 95.3%，批号 110721-202019）购自中国食品药品检定研究院；**4** 对照品（含量≥ 98%，批号 151021）购自成都普菲德生物技术有限公司；甲醇、乙腈和冰乙酸为色谱纯，水为超纯水，其余试剂均为分析纯。

2　方法与结果

2.1　陈皮提取液的制备

取陈皮药材，按《中华人民共和国药典》2020 年版（ChP 2020）一部陈皮项下炮制方法制成饮片。用百分之一天平称取陈皮饮片适量，分成 17 份，每份约 100 g，精密称定后按 Box-Behnken 设计中的因素水平进行回流提取，经 40.5 μm 筛网过滤，分别合并每组试验的提取液，得陈皮提取液。

2.2　出膏率测定

精密吸取陈皮提取液 25 mL，置已干燥至恒重的蒸发皿中，水浴蒸干，并转移至烘箱中，于 105 ℃干燥 3 h。取出后置干燥器（相对湿度为 25%）中，冷至室温，用万分之一天平精密称定，计算出膏率。

2.3　含量测定

2.3.1　色谱条件 [8]

照 2021 年 4 月国家药典委员会发布的“关于执行中药配方颗粒国家药品标准有关事项的通知”项下《陈皮配方颗粒质量标准》（YBZ-PFKL-2021025）特征图谱检测方法进行测定，色谱条件如下。

色谱柱 Acclaim RSLC 120 C_{18} 柱（2.1 mm× 100 mm，2.2 μm）；流动相 A 为乙腈，B 为 0.5% 冰乙酸溶液，梯度洗脱（0—15 min：A 13%—20%，15—25 min：A 20%—34%，25—44 min：A 34%—42%）；流速 0.40 mL/min；柱温 25 ℃；检测波长 283 nm；进样量 1.0 μL。

2.3.2　混合对照品溶液的制备

使用百万分之一天平精密称取 **1**、**2**、**3** 和 **4** 对照品适量，置 5 mL 量瓶中，加甲醇溶解并定容，摇匀，制成质量浓度分别为 50、250、100、70 μg/mL 的混合对照品贮备液。

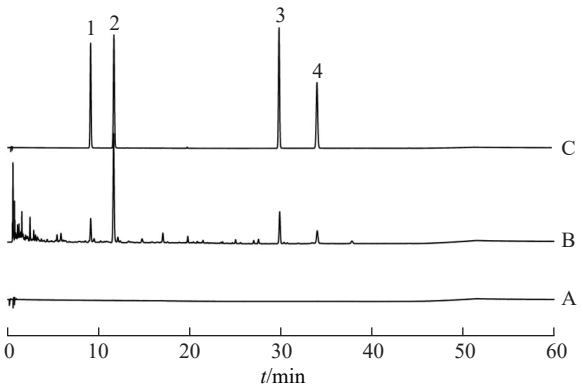
2.3.3　供试品溶液的制备

精密吸取陈皮提取液 10 mL，置具塞锥形瓶中，精密加入甲醇 50 mL，以百万分之一天平精密称定，超声处理（功率 300 W，频率 40 kHz）30 min，放冷，再精密称定，用甲醇补足减失的质量，摇匀，过滤，取续滤液，即得。

2.4　方法学考察

专属性试验：分别精密吸取空白溶剂（甲醇）、混合对照品溶液及供试品溶液，照“**2.3.1**”项下色谱条件进样测定，结果如图 1 所示，可见供试品溶液色谱图在与对照品溶液色谱图相应的保留时间处有相同的色谱峰，且空白溶剂无干扰，表明该方法专属性良好。

线性试验：精密吸取混合对照品贮备液适量，加甲醇配制成系列质量浓度的混合对照品溶液，按“**2.3.1**”项下色谱条件进样测定，记录色谱图。以对照品质量浓度（*c*）为横坐标、峰面积（*A*）为纵坐标，绘制标准曲线，进行线性回归，得到各组分的回归方程及线性范围，如表 1 所示。结果表明各成分在相应的质量浓度范围内与峰面积的线性关系良



A—空白溶剂；B—供试品溶液；C—混合对照品溶液。1—**1**；2—**2**；3—**3**；4—**4**。

图 1 专属性试验 UPLC 色谱图

Fig.1 UPLC Chromatograms for the Specific Test

好。精密度、重复性、稳定性和回收率试验结果表明，本法符合定量分析要求。

表 1 线性试验结果

Tab.1 Results of Linearity Test

组分	回归方程	*r*	线性范围/(μg·mL^{-1})
1	*A*=0.064 6*c*+0.023 7	0.999 4	2.57～51.35
2	*A*=0.080 0*c*+0.203 2	0.999 1	12.51～250.16
3	*A*=0.081 0*c*+0.053 5	0.999 5	5.00～100.00
4	*A*=0.106 5*c*+0.003 9	0.999 7	3.46～69.29

2.5 风险评估

根据实际生产经验找出影响陈皮配方颗粒提取过程的工艺参数和设备监测参数，主要涉及环境因素、设备、药材和提取工艺 4 个方面。再根据严重程度（S）、发生概率（O）和检测难易程度（D）对工艺参数的风险程度进行量化、赋值，评分原则如表 2 所示[9]。进而采用失效模式与影响分析（FMEA）法对各工艺参数的影响进行定量风险评估[9—10]。根据风险评估系数（RPN，即 S、O、D 三者之积）高低确定关键工艺参数，每个参数的 RPN 值如表 3 所示，当 RPN 值大于 10 时，认定其为影响陈皮配方颗粒提取过程的关键工艺参数[9]。

2.5.1 关键工艺参数的确定

由于本试验过程均采用同一批药材，在同一环境、相同仪器设备上进行提取，因此环境、设备和药材的风险在可控范围（RNP 值均 <10）。单就提取工艺影响因素而言，煎煮时间、加水量、煎煮次数的 RNP 值都较大，因此选取煎煮时间、加水量、煎煮次数为影响陈皮配方颗粒提取工艺的关键工艺参数。

表 2 因素 S、O 及 D 的评分标准

Tab.2 Scoring Criteria for the Factors S, O and D

因素	评分等级	评分标准
S	1	参数的波动对工艺几乎没有影响
	2	参数的波动对工艺的影响始终较小
	3	参数只有在较大范围内波动时才能对工艺产生严重影响
	4	参数的小波动就能对工艺产生严重的影响
O	1	不易偏离设定值或不产生波动，始终很稳定
	2	偏离设定值或产生较大波动的可能性较小
	3	偏离设定值或产生较大波动的可能性较大
D	1	只要发生异常，就能被检测到
	2	发生异常时，偶尔被检测到
	3	发生异常时，很难被检测到

表 3 陈皮提取工艺的风险评估结果

Tab.3 Risk Assessment Results of Extraction Process of Tangerine Peel

来源	参数	S	O	D	RPN	风险等级
环境	温度	1	1	2	2	低
	湿度	1	1	2	2	低
	压力	1	1	2	2	低
设备	加热能力	3	1	2	6	中
	加热方式	2	1	2	4	中
药材	来源	3	2	1	6	中
	粉碎度	3	2	1	6	中
	含量	4	2	1	8	中
提取工艺	煎煮时间	4	3	1	13	高
	加水量	3	2	2	12	高
	煎煮次数	4	3	1	12	高

2.5.2 质量指标的选取

陈皮配方颗粒标准是国家首批公示的 160 个中药配方颗粒国家标准中的一个，有制法要求，因此出膏率是关键性指标。陈皮配方颗粒标准项下特征图谱指认了组分 **1**、**2**、**3**、**4**，均为黄酮类成分，其中 **2** 含量最高，其次为 **3**。综上所述，选定出膏率、**1** 含量、**2** 含量、**3** 含量和 **4** 含量为质量指标。

2.6 Box-Behnken 设计 - 响应面法优选陈皮配方颗粒的提取工艺参数

2.6.1 试验设计及结果

根据 Box-Behnken 中心试验设计原理，以煎煮时间（*A*）、加水量（*B*）、煎煮次数（*C*）为考察因素，设计三因素三水平试验。各因素与水平如表 4 所示。

表 4　Box-Behnken 设计的因素与水平

Tab.4　Factors and Levels for Box-Behnken Design

水平	*A*/min	*B*/倍	*C*/次
－1	20	10	1
0	40	12	2
1	60	14	3

2.6.2　质量指标权重与综合加权评分

2.6.2.1　层次分析法（analytic hierarchy process，AHP）确定权重

AHP 是一种定性和定量相结合的主观赋权法，广泛用于各类目标决策及权重确定[11]。出膏率可直接影响提取物收得率，**2** 是 ChP 2020 一部陈皮项下的质量控制指标，**1**、**3**、**4** 为陈皮有效成分，但含量较低，故本研究将上述 5 项指标分为 4 个层次，其优先顺序为：出膏率 >**2** 含量 >**3** 含量 =**4** 含量 >**1** 含量。采用 1 ～ 9 标度法对 5 项指标进行两两比较，列举各评价指标的判断优先矩阵，如表 5 所示。利用几何平均法计算各指标的权重系数[12—13]，得到出膏率以及 **1**、**2**、**3** 和 **4** 含量的权重系数分别为 0.497、0.056、0.251、0.098 和 0.098。对所得权重系数进行一致性检验，得到一致性指标（consistency index，CI）为 0.021，随机一致性比率（consistent ratio，CR）为 0.019<0.1，说明所选指标适宜，符合一致性检验要求，所求得的权重系数有效。

表 5　AHP 对比比较矩阵 [1)]

Tab.5　AHP Pairwise Comparison Matrix

目标	出膏率	**2** 含量	**3** 含量	**4** 含量	**1** 含量	W'_i	W_i	λ_{max}	CI
出膏率	1	3	5	5	6	3.393	0.497		
2 含量	1/3	1	3	3	5	1.719	0.251		
3 含量	1/5	1/3	1	1	2	0.668	0.098	5.086	0.021
4 含量	1/5	1/3	1	1	2	0.668	0.098		
1 含量	1/6	1/5	1/2	1/2	1	0.384	0.056		

注：[1)] W'_i 表示特征向量，W_i 表示权重，λ_{max} 表示最大特征根。

2.6.2.2　熵权法确定权重

熵权法根据各项指标观测值所提供信息量的大小来确定指标权重，不依赖于决策者的主观态度，是一种客观赋权法[14—15]。对 Box-Behnken 设计试验结果（表 6）进行标准化处理［采用离差标准化法处理，标准化值的计算公式为 $X=(X-X_{min})/(X_{max}-X_{min})$］后，采用信息熵权法对各指标进行赋值，计算得出膏率以及 **1**、**2**、**3** 和 **4** 含量的权重系数分别为 0.185、0.226、0.192、0.203 和 0.194。

2.6.2.3　AHP- 熵权法综合加权计算权重

AHP 法受决策者的主观偏好影响较大；熵权法侧重挖掘数据本身所蕴含的客观信息，但未考虑各指标之间的相关性。上述计算结果显示，2 种方法所得的权重系数相差较大。因此，将主观权重与客观权重综合考虑，照综合加权公式 $W_{综合}=W_iZ_i/\sum_{i=1}^{m}W_iZ_i$（式中：$W_i$ 是 AHP 法求得的权重系数；Z_i 是熵权法求得的权重系数；m 表示试验指标个数）计算综合权重系数[15]。结果表明，出膏率以及 **1**、**2**、**3** 和 **4** 含量的综合权重系数分别为 0.480、0.066、0.251、0.104 和 0.099。

2.6.2.4　综合加权评分的计算

将每组试验所得的出膏率（Y_1）、**1** 含量（Y_2）、**2** 含量（Y_3）、**3** 含量（Y_4）、**4** 含量（Y_5）代入下式，计算综合评分（Y），结果如表 6 所示。

$$Y=0.480Y_1+0.066Y_2+0.251Y_3+0.104Y_4+0.099Y_5$$

2.6.3　模型拟合与方差分析

利用 Design-Expert V8.0.6.1 软件对表 6 中 Y 值进行二次多元回归拟合，由结果可得到二次多项式拟合回归方程：$Y=0.805+0.079\ 375A+0.614\ 37B+9.918\ 75C-0.000\ 562\ 5AB+0.000\ 412\ 5AC+0.025BC-0.000\ 5A^2-0.001\ 875B^2-1.187\ 5C^2$。由方差分析结果可知，该模型 $P<0.000\ 1$，表明显著性高、拟合度良好；失拟项 $P=0.444\ 6>0.05$，表明失拟项不显著，未知因素对试验结果干扰小；决定系数 $R^2=0.998\ 7$，进一步表明模型的拟合度和可信度良好；精密度 =78.713>4，说明此模型的精密度较好，因此可用此模型对陈皮提取工艺进行分析和预测。各因素对陈皮配方颗粒提取工艺均具有极显著影响（P 均小于 0.000 1），即煎煮时间、加水量、煎煮次数对综合评分的影响均有统计学意义。交互作用影响均不显著；二次项中，仅 C^2 影响极显著，表明考察因素与响应面值之间并非简单的线性关系。

2.6.4　三维效应面图的绘制与分析

通过 Design-Expert V8.0.6.1 软件处理，得到两

表 6 Box-Behnken 试验安排及综合评分结果

Tab.6 Scheme of Box-Behnken Experiment and the Comprehensive Scoring Results

编号	*A*	*B*	*C*	出膏率/%	**1** 含量/(mg·g^{-1})	**2** 含量/(mg·g^{-1})	**3** 含量/(mg·g^{-1})	**4** 含量/(mg·g^{-1})	*Y*
1	40	12	2	42.33	1.86	19.05	6.53	2.77	26.18
2	40	10	3	47.41	1.67	21.03	6.64	3.00	29.13
3	20	10	2	39.31	1.58	16.60	5.77	2.38	23.98
4	40	12	2	41.91	1.36	18.16	6.43	2.71	25.70
5	40	12	2	42.82	1.47	18.18	6.26	2.64	26.13
6	40	10	1	29.37	1.38	12.06	4.89	1.90	17.91
7	60	12	3	50.04	2.06	23.96	6.96	3.31	31.22
8	60	10	2	42.50	1.53	16.53	5.99	2.52	25.52
9	60	12	1	32.79	1.33	13.08	5.08	2.08	19.84
10	20	14	2	41.75	1.80	20.17	6.47	2.75	26.17
11	20	12	3	45.95	1.87	24.05	7.13	3.24	29.28
12	40	12	2	41.84	1.71	19.00	6.42	2.83	25.91
13	60	14	2	44.20	1.89	21.07	6.72	2.93	27.62
14	20	12	1	29.30	1.60	13.39	4.87	1.97	18.23
15	40	12	2	42.73	1.52	18.74	6.23	2.73	26.23
16	40	14	3	50.19	1.60	26.07	7.48	3.50	31.86
17	40	14	1	32.96	1.89	14.82	5.33	2.18	20.44

因素间交互作用的响应面分析图，如图 2 所示。因素 *AB* 响应曲面较平缓，说明因素 *AB* 之间交互作用影响不显著，即当煎煮时间不变时，综合评分随加水量的增大变化不明显；当加水量不变时，综合评分随煎煮时间的增大变化不明显。因素 *AC* 响应曲面较平滑，说明因素 *AC* 之间交互作用的影响也不显著，当煎煮时间不变时，综合评分随煎煮次数的增大而增加；当煎煮次数不变时，综合评分随煎煮时间的增大变化不明显。因素 *BC* 响应曲面较平滑，说明因素 *BC* 之间交互作用影响不显著，当加水量不变时，综合评分随煎煮次数的增大而增加；当煎煮次数不变时，综合评分随加水量的增大变化不明显。

2.6.5 最佳工艺参数的计算与验证

利用 Design-Expert V.8.0.6 软件，由回归模型进行预测分析，陈皮配方颗粒的最佳提取工艺如下：取陈皮饮片，加入饮片量 14 倍的水，加热煎煮 3 次，每次 60 min，趁热用 45 μm 筛网滤过，合并 3 次煎液，得陈皮提取液。在此条件下，综合评分最大值为 32.39。照上述优化提取条件进行 3 组验证试验，结果如表 7 所示。3 次验证试验的综合评分为 32.28、32.33、32.15，均值为 32.25，与预测值接近，各质量指标和综合评分的 RSD 均小于 2.0%，说明建立的模型预测性良好，优选的陈皮配方颗粒提取工艺稳定可行。

3 讨论

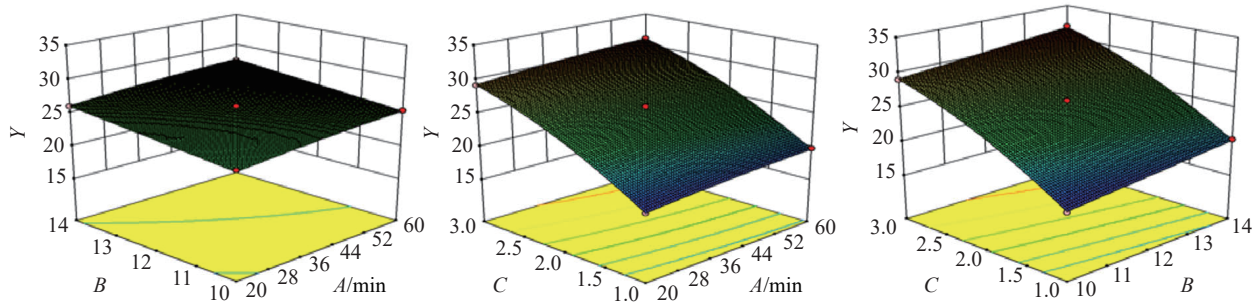
质量源于设计（quality by design，QbD）理念已逐渐被制药行业接受，认为药品质量不是单纯依赖检验和生产过程，而是依赖工艺参数的设计。基于 QbD 理念，本研究采用 Box-Behnken 设计 - 响应面法，对陈皮配方颗粒的提取工艺进行优化，相较传统的正交试验更为精准，有利于精准控制生产工艺条件，最大限度提高陈皮的利用率。此外，通过加权求和的方式，将 AHP 法和熵权法相结合，兼顾主客观因素，使得综合评价更具科学性、客观性和准确性。本研究以陈皮中 4 种有效成分含量和出膏率的综合评分为评价指标，采用 AHP- 熵权法综合加权对选取指标进行了合理的权重系数分配，优选出陈皮配方颗粒的提取工艺，为保证陈皮配方颗粒的质量和临床疗效提供了支撑。

参考文献：

[1] 余祥英, 陈晓纯, 李玉婷, 等. 不同产地和不同贮藏年限陈皮的化学成分研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2020, **11**(12): 3809-3817.

[2] 李尚科, 李 跑, 杜国荣, 等. 陈皮组成成分及检测方法研究进展[J]. 中国果菜, 2019, **39**(10): 36-39.

[3] 李思琦, 李 华. 陈皮主要化学成分及质量控制研究进展[J]. 今日药学, 2020, **30**(12): 861-864.



A　　B　　C

A—煎煮时间与加水量的响应面图；B—煎煮时间与煎煮次数的响应面图；C—煎煮次数与加水量的响应面图。

图 2　不同因素交互作用的响应面图

Fig.2　Response Surface Plots of Interactions between Various Factors

表 7　验证试验结果

Tab.7　Results of the Verification Test

试验号	出膏率/%	**1** 含量/(mg·g^{-1})	**2** 含量/(mg·g^{-1})	**3** 含量/(mg·g^{-1})	**4** 含量/(mg·g^{-1})	*Y*
验证组 1	52.37	1.93	23.74	7.11	3.24	32.28
验证组 2	52.59	1.93	23.55	7.05	3.18	32.33
验证组 3	52.03	1.98	23.81	7.20	3.22	32.15
预测值	52.93	1.98	23.67	7.40	3.53	32.39
RSD/%	0.54	1.48	0.57	1.06	0.95	0.29

[4]　黄秀芳, 庾国桢, 童晶晶. 基于网络药理学分析陈皮的药理作用机制[J]. 中成药, 2019, **41**(12): 3038-3045.

[5]　邸　莎, 马媛媛, 赵林华. 陈皮的临床应用及其用量探究[J]. 吉林中医药, 2019, **39**(6): 733-736.

[6]　黄华花, 王明军, 吕诗诗, 等. 陈皮配方颗粒的UPLC指纹图谱研究[J]. 中国现代应用药学, 2020, **37**(12): 1454-1458.

[7]　吴建雄, 李苏运, 郭怡敬, 等. 变异系数法-AHP综合加权结合响应面法优选陈皮醋制工艺[J]. 时珍国医国药, 2020, **31**(11): 2656-2660.

[8]　国家药典委员会. 关于执行中药配方颗粒国家药品标准有关事项的通知[EB/OL]. (2021-04-29)[2021-10-27]. https://www. chp. org. cn/gjydw/tz/15980. jhtml.

[9]　陈　柽, 李冰韶, 王永洁, 等. 设计空间法优化红花温浸提取工艺[J]. 中草药, 2018, **49**(19): 4544-4551.

[10]　黄兴国, 张　静, 杜文慧, 等. QbD理念的经典名方研究: 四物汤加减方的提取工艺优化研究[J]. 中国中药杂志, 2019, **44**(20): 4329-4335.

[11]　王　超. 基于层次分析法-熵值法的物资采购评审指标权重确定研究[J]. 招标采购管理, 2018, (12): 39-43.

[12]　魏　娟, 骆　霞, 祝　宇, 等. 多指标层次分析法结合Box-Behnken响应面法优化连翘提取工艺[J]. 中国医院药学杂志, 2021, **41**(11): 1109-1113.

[13]　李慧敏, 郑　淘, 曾艺琼, 等. AHP-CRITIC权重分析法综合优选玉竹全粉改性工艺[J]. 食品与发酵工业, 2021, **47**(5): 138-146.

[14]　姜春慧, 万芳新, 谢永清, 等. 基于AHP-熵权法的甜叶菊叶片远红外干燥工艺优化[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2022, **50**(6): 101-109.

[15]　张桂梅, 岳珠珠, 王慧楠, 等. 基于AHP-熵权法结合色差原理评价不同辅料大米对米炒党参饮片的影响[J]. 中草药, 2021, **52**(24): 7447-7454.