doi:10.3969 / j.issn.1006 - 4931.2022.02.012

鸡蛋花茎皮总黄酮提取工艺优选*

张 斌[1],史士强[1],李宗莉[1],周长凯[1],李 静[1],韩志武[1],张 璐[2△]

(1. 青岛大学附属医院药学部,山东 青岛 266000; 2. 南方医科大学中医药学院,广东 广州 510515)

摘要:目的 优选鸡蛋花茎皮总黄酮的最佳提取工艺。**方法** 以总黄酮含量为评价指标,在单因素试验基础上,以乙醇体积分数、提取时间、提取次数和提取温度为考察因素,采用 $L_9(3^4)$正交试验法优选最佳提取工艺;以乙醇体积分数、提取时间、提取温度为考察因素,采用星点设计 - 响应面法优选最佳提取工艺,并进行验证。**结果** 正交试验法所得最佳提取工艺为 70% 乙醇提取 3 次,每次 90 min,提取温度为 60 ℃,所得总黄酮平均含量为 2.43%(*RSD* = 3.36%)。星点设计 - 响应面法所得最佳提取工艺为 75.77% 乙醇提取 3 次,每次 77.32 min,提取温度为 63.90 ℃。总黄酮平均含量为 1.88%(*RSD* = 1.21%),与预测值(1.89%)相当。**结论** 两种试验方法优化得到的最佳提取工艺相近,星点设计 - 响应面法优化所得工艺更准确,设计更合理,可用于鸡蛋花茎皮总黄酮的提取。

关键词:鸡蛋花茎皮;总黄酮;正交试验法;星点设计 - 响应面法;提取工艺

中图分类号:R932;TQ460.6 **文献标志码:**A **文章编号:**1006 - 4931(2022)02 - 0045-05

Optimization of Extraction Process of Total Flavonoids from Plumeriae Rhizoma et Cortex

ZHANG Bin[1], *SHI Shiqiang*[1], *LI Zongli*[1], *ZHOU Changkai*[1], *LI Jing*[1], *HAN Zhiwu*[1], *ZHANG Lu*[2]

(1. Department of Pharmacy, The Affiliated Hospital of Qingdao University, Qingdao, Shandong, China 266000; 2. School of Traditional Chinese Medicine, Southern Medical University, Guangzhou, Guangdong, China 510515)

Abstract: Objective To optimize the extraction process of total flavonoids from Plumeriae Rhizoma et Cortex. **Methods** On the basis of single factor test, the extraction process was optimized by the $L_9(3^4)$ orthogonal test with the content of total flavonoids as the evaluation index, and with the ethanol volume fraction, extraction time, extraction times and extraction temperature as the investigation factors. The extraction process was optimized by the central composite design - response surface methodology with ethanol volume fraction, extraction time and extraction temperature as the investigation factors, and the verification test was conducted. **Results** The optimal extraction process by the orthogonal test was as follows: 70% ethanol was used for extraction for three times, 90 min each time, the extraction temperature was 60 ℃, and the average content of total flavonoids was 2.43% (*RSD* = 3.36%). The optimal extraction process by the central composite design - response surface methodology was as follows: 75.77% ethanol was used for extraction for three times, 77.32 min each time, the extraction temperature was 63.90 ℃, and the average content of total flavonoids was 1.88% (*RSD* = 1.21%), which was equivalent to the predicted value (1.89%). **Conclusion** The

*基金项目:广东省中医药局中医药科研项目[20212142]。

第一作者:张斌,男,硕士研究生,主管药师,研究方向为医院药学,(电话)0532 - 82919820(电子信箱)zhangbin0993@sina.com。

△通信作者:张璐,女,高级实验师,研究方向为中药炮制、提取工艺及质量标准,(电子信箱)448263039@qq.com。

自然杀伤细胞活性和 Th1 / Th2 细胞因子的影响[J]. 中草药, 2010,41(2):275 - 277.

[16] 胡 旭,陈静静. 康复新液结合臭氧对复发性阿弗他溃疡唾液表皮生长因子及血清 IL - 6、SOD、SIgA 的影响[J]. 中华全科医学,2019,17(9):1512 - 1514.

[17] 陈 英,钟 波,付 洪,等. 血清 TNF - α、IL - 6,8 水平与复发性阿弗他溃疡患者免疫功能的关系研究[J]. 现代生物医学进展,2017,17(13):2528 - 2530.

[18] 杜 芹,田 鲲,廖楚航. 复发性阿弗他溃疡 Th1 / Th2 细胞因子的检测[J]. 成都医学院学报,2013,8(6):657 - 660.

[19] MANJAVACHI MN, MOTTA EM, MAROTTA DM, et al. Mechanisms involved in IL - 6 - induced muscular mechanical hyperalgesia in mice[J]. Pain, 2010, 151(2): 345 - 355.

[20] 代志岭. 西帕依固龈液联合米诺环素对慢性牙周炎患者 IL - 8、hs - CRP、TNF - α 水平的影响[J]. 淮海医药,2020,38(3):280 - 282.

[21] 艾比拜·玉素甫,热娜古丽·艾则孜,哈木拉提·吾甫尔. 西帕依固龈液对 IL - 1β 刺激人牙龈成纤维细胞产生 PGE_2 的影响[J]. 科技导报,2012,30(15):57 - 60.

[22] 冯锦虹,李新尚,牛巧丽,等. 没食子对口腔细菌生物膜中细菌代谢的作用研究[J]. 新疆医科大学学报,2014,37(8):998 - 1000.

[23] 张利平,孙 予,隋秋丽. 西帕依固龈液联合盐酸米诺环素软膏对牙周炎患者 GI、PLI、SBI 水平的影响[J]. 齐齐哈尔医学院学报,2020,41(2):190 - 191.

[24] 刘秋艳. 复发性阿弗他溃疡的免疫因素分析[D]. 青岛:青岛大学,2017.

[25] 宁海燕,梁 斌,梁扬师. 西帕依固龈液对慢性牙周炎患者牙周指标和龈沟液中细胞因子的影响[J]. 中国医药,2019,14(4):600 - 604.

(收稿日期:2021 - 04 - 29;修回日期:2021 - 08 - 13)

optimal extraction processes optimized by the two methods are similar, and the process optimized by central composite design - response surface methodology is more accurate and reasonable, which can be used for the extraction of total flavonoids from Plumeriae Rhizoma et Cortex.

Key words: Plumeriae Rhizoma et Cortex; total flavonoids; orthogonal test; central composite design - response surface methodology; extraction processes

鸡蛋花茎皮为夹竹桃科鸡蛋花属鸡蛋花 *Plumeria rubra* L. cv. Acutifolia 的干燥茎皮，资源丰富，药用价值较高，其有效成分包括生物碱、黄酮、皂苷等，黄酮有抗病毒、抑菌、消炎、保肝等作用，故鸡蛋花茎皮具有清热解毒、利胆退黄、消肿止痛等功效[1]。目前对鸡蛋花茎皮药用功效的研究多只限于民间使用和记载，导致其药用价值未能充分利用。本研究中采用正交试验联合星点设计-响应面法对鸡蛋花茎皮总黄酮的提取方法进行了研究[2-8]，测定其总黄酮的含量，从而确定最佳提取工艺。现报道如下。

1 仪器与试药

1.1 仪器

HH-S2型数显恒温水浴锅、SHZ-D(3)型循环水式真空泵(上海申生科技有限公司)；XY-600B型多功能粉碎机(宁波新芝生物科技股份有限公司)；KH-100DE型数控超声波清洗器(东莞市科桥超声波设备有限公司)；YP1002型及JA3003N型电子天平(德国Sartorius公司)；UV-2401PC型紫外-可见分光光度计(日本Shimadzu公司)。

1.2 试药

芦丁对照品(中国食品药品检定研究院，批号为100080-200707，含量>98%)；无水乙醇、乙酸乙酯、亚硝酸钠、硝酸铝、氢氧化钠均为分析纯，水为蒸馏水。鸡蛋花茎皮药材，经南方医科大学中医药学院药用植物鉴定教研室陈兴兴副教授鉴定为正品。

2 方法与结果

2.1 总黄酮含量测定

2.1.1 溶液制备

称取芦丁对照品0.007 29 g，精密称定，置50 mL容量瓶中，加适量75%乙醇，超声(功率100 W，频率40 kHz，下同)使溶解，放冷至室温，加75%乙醇定容，摇匀，即得对照品溶液(0.145 8 mg/mL)。取药材粉末2 g，精密称定，置具塞锥形瓶中，按各试验设计条件进行提取、滤过，合并提取液，并以75%乙醇定容至50 mL，即得供试品溶液。

2.1.2 检测波长选择

取2.1.1项下对照品溶液和供试品溶液各适量，加入5%亚硝酸钠溶液0.3 mL，摇匀，放置6 min，再加10%硝酸铝溶液0.3 mL，摇匀，放置6 min，最后加4.0 mL 1 moL/L氢氧化钠溶液，定容，摇匀，放置15 min，以“0”作为空白，进行全波长扫描。结果在507 nm波长处溶液吸收较好，故以507 nm作为检测波长。

2.1.3 方法学考察

线性关系考察：分别精密吸取芦丁对照品0，1，2，3，4，5 mL置不同10 mL容量瓶中，在507 nm波长处进样测定，以吸光度(Y)为纵坐标、质量浓度(X)为横坐标进行线性回归，得芦丁回归方程Y = 11.497X + 0.001 6，r = 1.000 0(n = 5)。结果表明，芦丁质量浓度在0.014 58~0.072 90 mg/mL范围内与吸光度线性关系良好。

精密度试验：精密吸取对照品溶液3.0 mL，在507 nm波长处进样测定，日内平行进样6次，计算日内精密度；连续测定6 d，计算日间精密度。结果日内精密度的*RSD*为0.19%(n = 6)，日间精密度的*RSD*为0.31%(n = 6)，表明仪器精密度良好。

稳定性试验：精密吸取芦丁对照品溶液3.0 mL、供试品溶液0.5 mL，分别置10 mL容量瓶中，在507 nm波长处进样测定，室温下分别于0，10，20，30，40，50，60 min时进样，测定吸光度。结果的*RSD*为0.27%和0.68%(n = 7)，表明芦丁对照品溶液及供试品溶液在室温下放置60 min内稳定性较好。

重复性试验：精密吸取同一供试品溶液0.5 mL，共6份，分别置10 mL容量瓶中，在507 nm波长处进样测定，记录吸光度。结果的*RSD*为0.38%(n = 6)，表明方法重复性良好。

加样回收试验：精密吸取已知含量的供试品溶液6份，加入一定质量浓度的芦丁对照品溶液。在507 nm波长处进样测定，记录吸光度并计算加样回收率，结果见表1。

表1 加样回收试验结果(n = 6)

Tab. 1 Results of the recovery tests(n = 6)

取样量(mL)	样品含量(mg)	加入量(mg)	测得量(mg)	回收率(%)	$\bar{X}$(%)	*RSD*(%)
0.25	0.252 0	0.245 4	0.500	101.06	99.50	0.98
0.25	0.252 0	0.245 4	0.497	99.84		
0.25	0.252 0	0.245 4	0.493	98.21		
0.25	0.252 0	0.245 4	0.495	99.02		
0.25	0.252 0	0.245 4	0.495	99.02		
0.25	0.252 0	0.245 4	0.497	99.84		

2.2 单因素试验

提取溶剂选择：选择不同提取溶剂，每次用量 18 mL，在 50 ℃下超声 60 min[9]，其他同 2.1.1 项供试品溶液制备方法，精密吸取各提取液 0.5 mL，在 507 nm 波长处进样测定，记录吸光度，并计算总黄酮含量。结果水、60% 乙醇、乙酸乙酯、甲醇中黄酮含量分别为 2.18%，2.75%，0.16%，1.89%。可见，相同条件下，乙醇提取的黄酮含量最高，其次为水。乙醇与水相互混合比例不同能使其极性发生变化，对于提取工艺的优化来说，具有可选择性，故选择乙醇作为提取溶剂。

提取方法选择：以乙醇为提取溶剂，每次用量 18 mL，分别在 50 ℃下超声、75 ℃下水浴加热、索氏回流提取 1 次，其他同 2.1.1 项下供试品溶液制备方法，精密吸取各提取液 0.5 mL，在 507 nm 波长处进样测定，记录吸光度，并计算总黄酮含量。结果分别为 2.75%，1.84%，2.04%。可见，相同条件下，超声提取的鸡蛋花茎皮黄酮含量最高，故确定提取方法为超声提取法。

乙醇体积分数选择：以不同体积分数（40%，50%，60%，70%，80%，90%）的乙醇为提取溶剂，每次用量 12 mL，在 40 ℃下，超声提取 2 次，每次 60 min，放冷至室温，称定质量，以相应乙醇补足减失的质量，其他同 2.1.1 项下供试品溶液制备方法，精密吸取各提取液 0.5 mL，在 507 nm 波长处进样测定，记录吸光度，并计算总黄酮含量。结果分别为 2.27%，2.26%，2.32%，2.28%，2.36%，2.14%。可见，提取的总黄酮含量随乙醇体积分数的增大而增大，乙醇体积分数由 40% 变为 50% 时含量无明显变化，在 60%～80% 时含量较高，在 80% 时达最大值。故本研究中选用 60%～80% 乙醇作为提取溶剂。

2.3 正交试验

试验设计：在单因素试验基础上，以乙醇体积分数（因素 A，%），提取时间（因素 B，min），提取次数（因素 C，次），提取温度（因素 D，℃）为考察因素，以黄酮含量为评价指标，溶剂用量为每次 12 mL，进行 $L_9(3^4)$ 正交试验，根据 2.2 项下考察结果设计因素水平。详见表 2。

结果与分析：正交试验设计与结果见表 3，可见，各因素对黄酮含量的影响极差大小为 A > C > B > D，即对总黄酮含量影响最大因素是乙醇体积分数，其次为提取次数。方差分析结果见表 4，可见，乙醇体积分数对总黄酮含量有显著影响。综合分析，故最佳提取工艺为 $A_2B_3C_3D_2$，即 70% 乙醇提取 3 次，每次 90 min，提取温度为 60 ℃。

表 2 正交试验因素与水平

Tab. 2 Factors and levels of the orthogonal test

水平	因素 A（%）	因素 B（min）	因素 C（次）	因素 D（℃）
1	60	30	1	40
2	70	60	2	60
3	80	90	3	80

表 3 正交试验设计与结果

Tab. 3 Design and results of the orthogonal test

序号	因素 A	因素 B	因素 C	因素 D	总黄酮含量（%）
1	1	1	1	1	2.09
2	1	2	2	2	2.06
3	1	3	3	3	2.10
4	2	1	2	3	2.32
5	2	2	3	1	2.38
6	2	3	1	2	2.33
7	3	1	3	2	2.21
8	3	2	1	3	2.02
9	3	3	2	1	2.12
K_1	2.083	2.027	2.147	2.197	
K_2	2.343	2.153	2.167	2.200	
K_3	2.117	2.183	2.230	2.147	
R	0.260	0.054	0.083	0.053	

表 4 正交试验方差分析结果

Tab. 4 Results of the ANOVA of the orthogonal test

因素	离差平方和	自由度	均方	$F_{比}$	$F_{临界值}$	P
A	0.120	2	0.060	24.000	19.000	< 0.05
B	0.004	2	0.002	0.800	19.000	
C	0.011	2	0.005 5	2.200	19.000	
D	0.005	2	0.002 5	1.000	19.000	
误差	0.01	2				

注：$F_{0.05}(2,2) = 19.000$。

Note: $F_{0.05}(2,2) = 19.000$.

验证试验：按选出的最优工艺条件重复试验 3 次，结果总黄酮含量分别为 2.39%，2.37%，2.52%（RSD = 3.36%），3 次试验结果均能达到正交试验结果的较高值，说明最佳提取工艺条件稳定可靠。

2.4 星点设计－响应面法优化提取工艺

试验设计：结合单因素试验和正交试验结果，以乙醇体积分数、提取时间、提取温度为考察因素，溶剂用量为每次 12 mL，提取 3 次。各因素的水平设计见表 5、表 6。

表 5 星点试验因素与水平

Tab. 5 Factors and levels of the central composite design experiment

水平	因素 A（%）	因素 B（min）	因素 C（℃）
－1.732	60	30	40
－1	64.23	42.68	48.45
0	70	60	60
1	75.77	77.32	71.55
1.732	80	90	80

表6 星点试验设计与结果

Tab. 6 Design and results of the central composite design experiment

序号	因素A	因素B	因素C	总黄酮含量(%)
1	-1	-1	-1	1.48
2	1	-1	-1	1.42
3	-1	1	-1	1.66
4	1	1	-1	1.75
5	-1	-1	1	1.52
6	1	-1	1	1.54
7	-1	1	1	1.46
8	1	1	1	1.84
9	-1.732	0	0	1.71
10	1.732	0	0	1.89
11	0	-1.732	0	1.39
12	0	1.732	0	1.88
13	0	0	-1.732	1.63
14	0	0	1.732	1.66
15	0	0	0	1.70
16	0	0	0	1.66
17	0	0	0	1.64
18	0	0	0	1.69
19	0	0	0	1.68
20	0	0	0	1.65

结果与分析：以总黄酮含量（Y，%）为因变量，试验结果用Design Expert 8.0.6.1软件分析，进行多元二次回归拟合，得方程 $Y = 7.7 - 0.16A - 0.015B - 0.012C + 6.38 \times 10^{-4}AB + 6.94 \times 10^{-4}AC - 1.69 \times 10^{-4}BC + 6.74 \times 10^{-4}A^2 - 1.08 \times 10^{-4}B^2 - 2.19 \times 10^{-4}C^2$。方差分析结果见表7。回归方程模型的 $P < 0.01$，失拟性检验的 $P < 0.01$，复合相关系数 $R^2 = 0.8489$，表明该模型的拟合度良好，试验误差较小，可用于该模型预测试验结果。模型系数显著性结果表明，该模型的一次项A（$P < 0.05$）和B（$P < 0.01$），以及二次项AB（$P < 0.05$）对黄酮含量影响显著（$P < 0.05$），表明乙醇体积分数和提取时间对总黄酮的含量影响显著。综上所述，各因素对黄酮含量的影响显著性由大到小依次为提取时间、乙醇体积分数、提取温度。

响应面分析：响应面优化法在试验条件的优化过程中，可依次对单个试验因素进行分析，也可连续对各个试验因素进行分析[10-11]。用Design Expert 8.0.6.1软件绘制不同影响因素对响应值的三维曲线图，详见图2。根据模型方程和响应曲面图确定鸡蛋花茎皮总黄酮的最佳提取工艺为75.77%乙醇提取3次，每次77.32 min，提取温度为63.90 ℃。

验证试验：根据预测的鸡蛋花茎皮总黄酮的最佳提取工艺条件，进行3次验证试验，比较预测值与真实值的差异。其中，总黄酮的预测值为1.89%，真实值分别为1.89%，1.88%，1.88%，平均1.88%（$RSD = 1.21\%$），预测值与真实值的偏差约为0.01%。说明建立的模型预测性较好，可用于鸡蛋花茎皮总黄酮的提取工艺优化。

表7 星点试验方差分析与结果

Tab. 7 Results of the ANOVA of the central composite design experiment

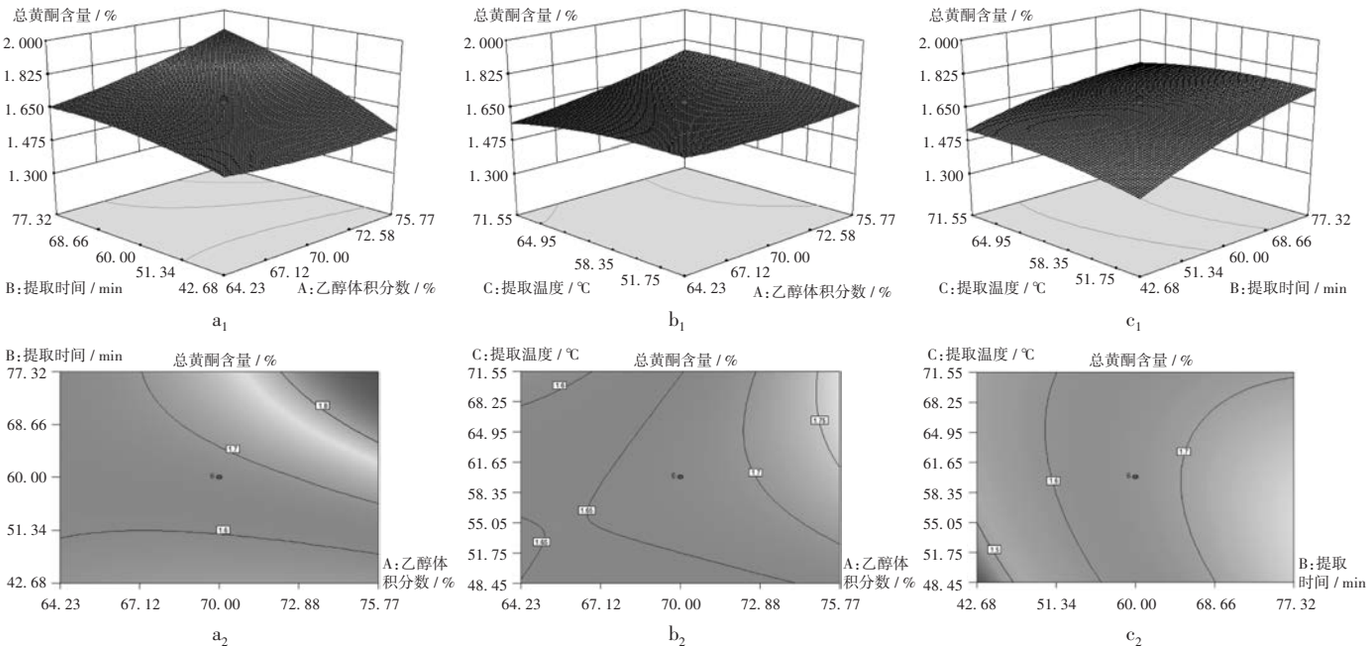
来源	离差平方和	自由度	均方	F值	P值
模型	0.32	9	0.036	6.24	0.004 2
A	0.039	1	0.039	6.86	0.025 7
B	0.18	1	0.18	31.85	0.000 2
C	7.426×10^{-4}	1	7.426×10^{-4}	0.13	0.726 4
AB	0.033	1	0.033	5.67	0.038 5
AC	0.017	1	0.017	2.99	0.114 7
BC	9.112×10^{-3}	1	9.112×10^{-3}	1.59	0.236 0
A^2	7.945×10^{-3}	1	7.945×10^{-3}	1.39	0.266 3
B^2	0.017	1	0.017	2.91	0.118 9
C	0.013	1	0.013	2.34	0.156 8
残差	0.057	10	5.732×10^{-3}		
失拟项	0.055	5	0.011	19.47	0.002 7
纯误差	2.800×10^{-3}	5	5.600×10^{-4}		
总和	0.38	19			

3 讨论

超声提取是利用超声波具有的机械、空化和热效应，通过增大介质分子的运动速度、穿透力以提取生物的有效成分[12]。而水浴加热提取和索氏回流提取是利用热效应来加快介质分子的运动以提取生物的有效成分。因此，本研究中选择的超声提取更加充分和全面，这也为中药提取方法的研究提供了依据。

考察提取溶剂、乙醇体积分数在单因素试验中，选取了60%～80%乙醇为提取溶剂[13]。黄酮成分的存在形式包括苷和苷元，苷元极性小，而苷极性较大，前者难溶于水，但易溶于乙醇等有机溶剂，后者易溶于水、乙醇、甲醇等极性较强的溶剂。因此，乙醇对黄酮的溶解性较大，其与水的不同浓度梯度也为黄酮的提取提供了更多选择，且以水与乙醇为溶剂提取时操作简单，成本较低。

本研究中2种试验方法所优化的最佳工艺结果相近，星点设计的试验次数比正交试验多，但优化工艺更准确直观，且因素水平范围设计更加合理、准确。响应值多在最佳工艺条件附近变化灵敏，试验条件的微小变化都会产生较大变化，而试验条件远离优化区域，其变化趋势逐渐减小，线性越好，故所选星点设计适用于非线性模型拟合，而本研究中也通过模型拟合进行了



a_1, a_2. 乙醇体积分数与提取时间　b_1, b_2. 乙醇体积分数与提取温度　c_1, c_2. 提取时间与提取温度

图 2　各影响因素与总黄酮含量的响应面和等高线图

a_1, a_2. Ethanol volume fraction and extraction time　b_1, b_2. Ethanol volume fraction and extraction temperature　c_1, c_2. Extraction time and extraction temperature

Fig. 1　Response surface and contour map of various influencing factors on the total flavonoids content

二次项拟合，该模型也具有显著性。

本研究中由于试验期间方案设计不合理，重复某一环节多次，以致原药材不足，星点设计 - 响应面法试验中所用药材为第 2 次采割，但由于鸡蛋花茎皮为不同季节（2015 年 7 月、2016 年 3 月）采割，黄酮含量差异较大[14-15]，可能是黄酮成分受温度影响较大，部分已转化为异构体或其他成分，但并不影响本研究中鸡蛋花茎皮黄酮提取工艺的优化。

参考文献

[1] 何书平，台海川，姜明辉，等. 傣药材鸡蛋花树皮质量研究[J]. 中国民族医药杂志，2010，16(6)：22 - 23.
[2] 李彦杰，杨俊年，刘仁华，等. 万州红橘果皮总黄酮提取工艺优化和抗氧化活性分析[J]. 食品科技，2013(11)：221 - 225.
[3] 邓　翀，冯改利，杨乖利，等. 正交试验设计优化杜仲总黄酮提取工艺[J]. 中华中医药杂志，2011，26(11)：2695 - 2697.
[4] 陆海峰，黄元河，潘乔丹，等. 正交试验法优化白鹤藤中总黄酮和总三萜的提取工艺[J]. 华西药学杂志，2017，32(1)：60 - 62.
[5] 黄道明，黄　平，沈丽霞，等. 响应面法优化杠板归总黄酮微波提取工艺[J]. 中国药业，2020，29(13)：31 - 34.
[6] 刘长龙，李海涛. 正交试验联合星点设计 - 效应面法优化杨树芽总黄酮的提取工艺[J]. 中国实验方剂学杂志，2014，20(10)：26 - 28.
[7] 俞文婕，王添敏，翟延君，等. 星点设计 - 效应面法优化胡桃楸茎枝中总鞣质提取工艺[J]. 中成药，2013，35(7)：1419 - 1424.
[8] 李　颖，纪　莎，高锦娟，等. 星点设计 - 效应面法优化复方巴戟天生骨颗粒提取工艺[J]. 中药材，2014，37(10)：1863 - 1867.
[9] JING LJ, LI SY, CHANG Z, et al. Optimization of ultrasound - assisted extraction of camptothecin from *Camptotheca acuminata* seeds[J]. Journal of Forestry Research, 2011, 22(2): 239 - 242.
[10] LI B, HUANG SM, PANG XH, et al. Optimization of Extraction Process of *Clerodendrum philippinum* Schauer var. simplex Mlodenke Total Flavonoids (CPTF) by Central Composite Design - Response Surface Methodology [J]. Medichine Plant, 2018, 9(9): 17 - 20.
[11] CAO HK, XI BT, HUANG SM, et al. Optimization of Extraction Process of Total Flavonoids from *Akebia trifoliata* (Thunb.) Koidz. by Central Composite Design - Response Surface Methodology[J]. Medichine Plant, 2017, 8(2): 15 - 18.
[12] ALI MC, CHEN J, ZHANG HJ, et al. Effective extraction of flavonoids from *Lycium barbarum* L. fruits by deep eutectic solvents - based ultrasound - assisted extraction[J]. Talanta, 2019, 203: 16 - 22.
[13] 张黎黎，胡雪芬，王秀丽，等. 正交试验法确定金莲花中总黄酮最佳提取工艺[J]. 科技创新导报，2015(4)：1 - 3.
[14] 刘晓辉，杨　明，谭丽婷，等. 鸡蛋花树主要器官不同发育时期物质含量变化研究[J]. 北方园艺，2013(9)：92 - 94.
[15] 石雪萍，吴亮亮. 高效液相色谱测定不同采收期罗布麻中黄酮含量[J]. 食品与生物技术学报，2013，32(10)：1115 - 1119.

（收稿日期：2020 - 12 - 06；修回日期：2021 - 08 - 11）