

谢勇武,谭属琼. 响应面法优化超声辅助提取龙眼壳、核中总黄酮工艺[J]. 江苏农业科学,2019,47(13):239-244.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.13.058

# 响应面法优化超声辅助提取龙眼壳、核中总黄酮工艺

谢勇武,谭属琼

(福建师范大学闽南科技学院,福建泉州 362332)

**摘要:**将常被丢弃的龙眼壳和龙眼核高效合理地利用起来,不仅不浪费资源,还能够提高龙眼的整体利用价值,提供了获得黄酮的另一途径,降低提取黄酮的经济成本。研究了超声波辅助乙醇浸提法从龙眼壳、核中提取黄酮,其量的测定是采取紫外分光光度法测定的。利用响应面法在单因素试验结果之上再做优化试验,最后得到最佳提取工艺:超声温度 61 ℃、原料目数 41 目、乙醇浓度 63%、料液比 1 g : 20 mL、超声时间 30 min,实际黄酮提取量可达 39.1 mg/g。

**关键词:**龙眼;黄酮;超声波;响应面;提取工艺

**中图分类号:** R284.2      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1002-1302(2019)13-0239-06

龙眼 (*Dimocarpus longan* L.) 是无患子科果树的果实<sup>[1]</sup>,其壳和核都能用来当作药物成分,但两者经常被当作垃圾扔掉,其核质量约占其鲜质量的 1/5<sup>[2]</sup>。黄酮类化合物又属于多酚类化合物,其具有的多种生物活性能消除体内的自由基,有抗衰老、降低胆固醇、抗肿瘤、消除疲劳、改善血液循环、抗菌、抗突变和降血压等作用<sup>[3]</sup>,也可抵御心脑血管疾病、抑制脂肪酶、防癌、防辐射等<sup>[4]</sup>。其若可以利用一种低成本且高效的方法从龙眼壳、核中得到,不仅节约资源、保护环境,同时也提高了龙眼果实的利用率和获取黄酮的另一途径。

贤景春等在超声波提取龙眼核总黄酮量的工艺研究中,先通过单因素试验再进行正交试验分析,得到最佳工艺:乙醇浓度 60%,超声时间 30 min,超声温度 70 ℃,料液比 1 g : 13 mL<sup>[5]</sup>。关恺珍等在对响应面法超声提取龙眼核黄酮工艺的优化试验研究中通过 3 因素 3 水平的响应面分析法得到最佳提取工艺:提取溶剂丙酮的浓度为 59%,超声时间为 2.3 h,超声温度为 71 ℃<sup>[6]</sup>。周孟清等在用微波辅助法提取龙眼壳中黄酮类化合物的研究中先进行单因素试验,再进行 3 因素 3 水平正交试验,得到最佳提取工艺:微波处理时间 30 s,微波处理功率为 160 W,料液比 1 g : 4 mL<sup>[7]</sup>。龙眼在国外除了直接食用和简单加工成饮料外,更多的是研究龙眼核的提取成分。龙眼核提取物有一定的抗菌活性,且一种水溶性的龙眼核多糖对人肺癌的细胞增殖呈剂量依赖性的抑制,在体内外均可发挥抗癌作用<sup>[8-9]</sup>。龙眼核活性炭具有高比表面积和多孔结构,更有利于吸附<sup>[10]</sup>。龙眼核是一个丰富的抗氧化剂茶多酚的天然来源,其提取物又是大肠癌细胞侵袭和明胶酶活性的强效抑制剂,21% 水解度的龙眼提取物含有很高的可溶性膳食纤维和较强的活性益生元<sup>[11]</sup>。

本次试验以福建泉州废弃的龙眼壳、核为原材料,采取以

乙醇为溶剂,超声波辅助提取其壳、核中黄酮类化合物的提取方法,紫外分光光度法来测定试验所得的黄酮量。在单因素试验基础上,选用响应面法优化龙眼壳与核中黄酮提取的最佳工艺。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

龙眼是泉州本地龙眼,芸香苷标准品(芸香苷含量 ≥ 98%,北京索莱宝科技有限公司),亚硝酸钠、硝酸铝、氢氧化钠均为分析纯,无水乙醇(乙醇含量 ≥ 99.7%)等。

### 1.2 试验方法

1.2.1 工艺流程 废弃的龙眼壳、核→挑拣、干燥→粉碎→过筛→称质量→按一定料液比加溶剂→超声波提取→抽滤(布氏漏斗)→定容→黄酮提取量的测定

1.2.2 主要工艺操作要点 (1)原料处理。从废弃的龙眼壳、核中挑拣出明显的杂质,在 50 ℃ 下鼓风干燥箱中烘干到质量不再改变,将干燥的龙眼壳、核磨粉,过筛,再倒入加盖广口玻璃瓶中,干燥保存备用。(2)芸香苷标准溶液的配制。正确称取在 105 ℃ 干燥至恒质量的芸香苷标准品 20 mg,加一定量的体积分数为 60% 的乙醇溶液溶解,全部移入 100 mL 容量瓶中,再用 60% 乙醇溶液定容至刻度,摇匀,制得浓度为 0.200 mg/mL 的芸香苷标准溶液,冷藏待用。(3)芸香苷标准曲线的制作。分别移取上述芸香苷标准溶液 0.0、0.4、0.8、1.2、1.6、2.0、2.4 mL 各置于 10 mL 容量瓶中,各加入 50 mg/mL 亚硝酸钠溶液 0.2 mL,摇匀后静置 6 min,加 100 mg/mL 硝酸铝溶液 0.2 mL,摇匀后静置 6 min,加 40 mg/mL 氢氧化钠溶液 2.0 mL,再加 60% 乙醇溶液定容至刻度,摇匀,静置 15 min。空白对照为不加芸香苷标准溶液,将测吸光度的仪器的波长调至 510 nm 处测吸光度,取 3 次平行试验平均值。以吸光度  $D$  为纵坐标,以芸香苷含量 (mg/mL) 为横坐标绘制出标准曲线(图 1)。(4)样品溶液的制备。拿干燥的、过一定目数筛的龙眼壳、核粉末 1.000 g,准确称量,在确定料液比下加已知浓度的乙醇溶液作为提取溶剂,在设置好的温度、超声频率下超声水浴提取一定时间,

收稿日期:2018-09-18

基金项目:福建省教育厅中青年科技项目(编号:JAT170877);福建师范大学闽南科技学院教改项目(编号:MKJG-2017-005)。

作者简介:谢勇武(1984—),男,湖南邵东人,硕士,讲师,从事生物分离提取及分子育种研究。E-mail:272085752@qq.com。

趁热抽滤,再移至 50 mL 容量瓶中并用 60% 乙醇定容,制成样品溶液。(5) 黄酮提取量的测定。分别取 0.5 mL 的待测提取液,置于 25 mL 容量瓶中,各加入 50 mg/mL 亚硝酸钠溶液 0.2 mL,摇匀后静置 6 min,加 100 mg/mL 硝酸铝溶液 0.2 mL,摇匀后静置 6 min,加 40 mg/mL 氢氧化钠溶液 2.0 mL,再加 60% 乙醇溶液定容至刻度,摇匀,静置 15 min。以不加提取液组为对照组,于 510 nm 波长处测吸光度,根据吸光度和芸香苷标准曲线计算总黄酮提取量,并按下式计算:

$$W = (X/m) (V_1/V_2)。$$

式中:W 为样品中黄酮提取量;X 为测得样品液的吸光度;m 为样品质量; $V_1/V_2$  为测定用样液体积 (mL)/试样处理液总体积 (mL)。

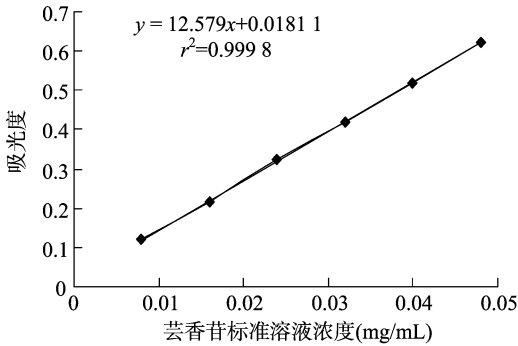


图1 芸香苷标准曲线

1.3 试验设计方案

1.3.1 单因素试验设计 把乙醇溶液作为提取溶剂,在一定超声波频率下利用超声波辅助法提取龙眼壳、核粉末中的黄酮类化合物,分别设计以原料目数 (10、20、40、60、80、100 目)、超声温度 (30、40、50、60、70、80 ℃)、料液比 (1 g : 10 mL、1 g : 15 mL、1 g : 20 mL、1 g : 25 mL、1 g : 30 mL、1 g : 35 mL)、乙醇浓度 (40%、50%、60%、70%、80%、90%)、超声时间 (20、30、40、50、60、70 min) 为单一因素对黄酮提取量影响的试验。

1.3.2 龙眼壳、核黄酮提取的响应面试验设计 根据 RSM 中 Box - Behnke Design (BBD) 的中心组合试验设计原理,在单因素试验基础上,建立以对龙眼壳、核中黄酮提取量影响显著的 4 个因素为自变量 A、B、C、D 的 4 因素 3 水平的响应面分析 (表 1)。用 Design Expert version 8 软件进行响应面试验设计,各因素的响应值为黄酮的提取量,最终分析获得从龙眼壳、核中提取黄酮类化合物的最佳提取工艺。

表 1 因素水平

水平	A:乙醇浓度 (%)	B:超声温度 (℃)	C:超声时间 (min)	D:原料目数 (目)
-1	50	50	20	20
0	60	60	30	40
1	70	70	40	60

2 结果与分析

2.1 单因素试验结果分析

2.1.1 乙醇浓度对龙眼壳、核黄酮提取量的影响 由图 2 可知,龙眼壳、核中黄酮的提取量随乙醇浓度的增大先升高后降

低,乙醇浓度为 60% 时,黄酮提取量最大。乙醇浓度过低不利于黄酮类物质的溶解提取,过大可导致蛋白质、糖类等大分子发生凝聚,梗阻内部组织的孔道,致黄酮类化合物扩散的阻力增进,乙醇浓度的增长也会减弱颗粒细胞的溶胀<sup>[12]</sup>,因此乙醇溶液的浓度以 60% 左右为宜。

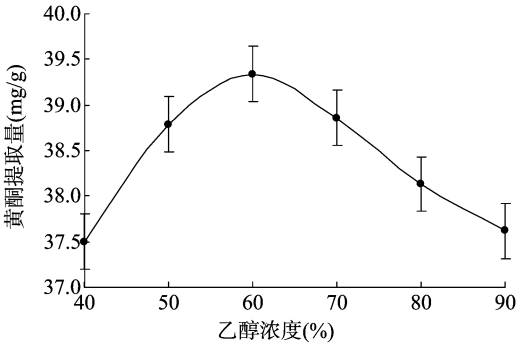


图2 乙醇浓度对龙眼壳、核中黄酮提取量的影响

2.1.2 超声温度对龙眼壳、核中黄酮提取量的影响 由图 3 可知,黄酮提取量跟随超声温度的升高先明显增加后又逐渐减少,当超声温度为 60 ℃ 时,其提取量最大。可能原因是温度过低使黄酮类物质不易溶解出来,而温度过高引起黄酮类物质被氧化毁坏,还可能导致其他可溶性物质的溶出,从而降低黄酮提取量<sup>[13-15]</sup>。当超声温度为 80 ℃ 时,其稍有平缓增加趋势,但考虑到试验的成本与操作的简易性而选择 60 ℃ 左右作为适宜的超声温度。

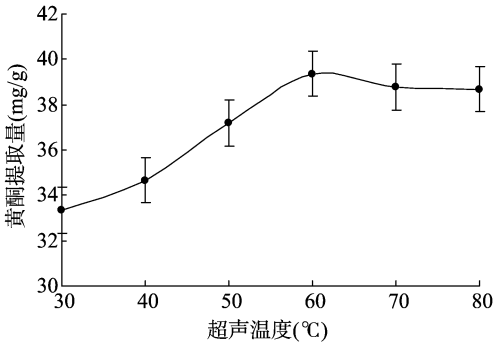


图3 温度对龙眼壳、核黄酮提取量的影响

2.1.3 超声时间对龙眼壳、核黄酮提取量的影响 由图 4 可知,黄酮提取量跟随超声时间的延长先升高后迟缓下降,超声时间为 30 min 时黄酮提取量最高。可能是由于时间较短,黄酮类物质溶解不充分,而一定范围内的延长超声时间可增加原料与提取液的接触时间,从而溶解度有所提高,进而增加提取量。当超声时间过长,黄酮类物质可部分被热分解,同时原料中的其他醇溶性物质也会被溶解出来,使获取的黄酮纯度下降<sup>[16]</sup>。因此,超声时间以 30 min 左右为宜。

2.1.4 原料目数对龙眼壳、核中黄酮提取量的影响 由图 5 可知,随龙眼壳、核粉碎程度的增大,从龙眼壳、核中能够提取出的黄酮量先升高后降低,目数为 40 目时最高。原因可能是目数太小,黄酮类物质不能很好地从原料中溶解出来,一定粒度范围内,随粒度的增加,黄酮的溶解性增强,提取量升高。若原料的粒度太小,黄酮物质会更多地样品颗粒的表面吸附,能溶解在溶剂中的则变少。因此,原料目数取 40 目左右较适宜。

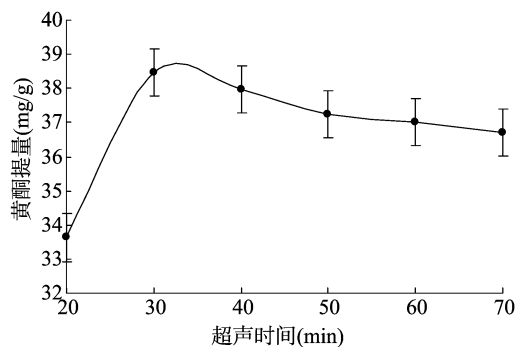


图4 时间对龙眼壳、核黄酮提取量的影响

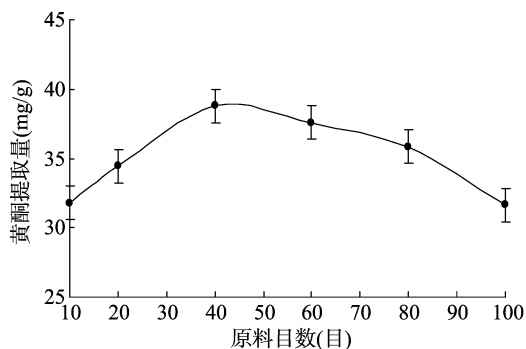


图5 原料目数对黄酮提取量的影响

2.1.5 料液比对龙眼壳、核中黄酮提取效果的影响 由图 6 可知,龙眼壳、核中黄酮提取量随溶剂用量的增加而升高,在料液比为 1 g : 20 mL 时,其提取量最大,之后,黄酮提取量逐渐降低。溶剂用量过大时,黄酮提取量降低,导致其他杂质在溶剂中过多溶出的同时影响到黄酮在溶剂中的溶解,由于料液比对黄酮提取量的影响相对较小,因此,料液比固定为 1 g : 20 mL。

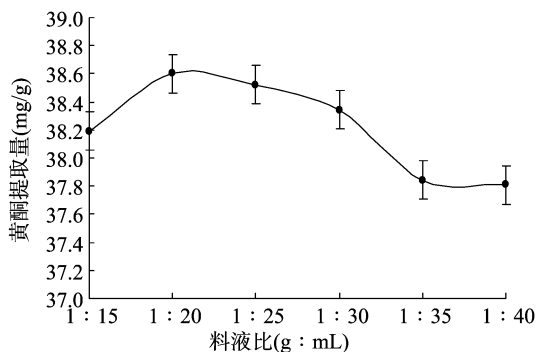


图6 料液比对龙眼壳、核黄酮提取量的影响

## 2.2 响应面试验结果与分析

2.2.1 响应面试验设计与结果 通过以上单因素试验,利用 Box - Behnken 中心组合试验的设计原理,设计了乙醇浓度、超声温度、超声时间、原料目数 4 因素 3 水平 29 个试验点的响应分析试验,结果见表 2。

2.2.2 回归模型的建立与分析 利用 Design - Expert 8.0 软件进行乙醇浓度、超声温度、超声时间、原料目数 4 个因素对龙眼壳、核中黄酮提取量的回归分析,建立四元二次回归方程:

$$Y = 39.20 + 1.24A + 0.56B - 0.14C + 0.39D + 0.23AB + 0.22AC + 0.13AD + 0.050BC - 1.25BD - 1.15CD - 2.08A^2 - 2.30B^2 - 2.18C^2 - 2.78D^2。$$

表 2 响应面试验结果

试验编号	A:乙醇浓度(%)	B:超声温度(℃)	C:超声时间(min)	D:原料目数(目)	黄酮提取量(mg/g)
1	1	0	0	-1	35.8
2	0	0	-1	1	36.4
3	-1	0	1	0	33.3
4	0	0	0	0	38.9
5	0	-1	1	0	35.3
6	0	0	1	-1	33.7
7	-1	-1	0	0	32.2
8	1	0	0	1	35.9
9	0	0	0	0	38.5
10	-1	1	0	0	33.6
11	0	0	-1	-1	33.2
12	1	-1	0	0	34.9
13	-1	0	-1	0	34.3
14	0	0	0	0	39.2
15	0	1	-1	0	34.9
16	0	1	0	-1	34.7
17	1	0	-1	0	36
18	-1	0	0	-1	33.9
19	0	1	0	1	33.8
20	1	1	0	0	37.2
21	0	-1	0	1	35.9
22	-1	0	0	1	33.5
23	0	-1	-1	0	33.9
24	0	1	1	0	36.5
25	0	0	0	0	39.8
26	1	0	1	0	35.9
27	0	0	0	0	39.6
28	0	0	1	1	32.3
29	0	-1	0	-1	31.8

运用 Design Expert 软件对试验点的响应值进行方差分析,结果见表 3。由表 3 可知,回归模型是极显著的 ( $P < 0.01$ ),一次项的 A 及 B、C、D 4 个因素的二次项和各因素之间的交互作用 (BD、CD) 对龙眼壳、核中黄酮提取量的影响均达显著水平 ( $P < 0.05$ )。且此试验模型的失拟项 ( $P = 0.0929 > 0.05$ ) 为不显著,显示此模型的相对误差较小、拟合度好,因此试验结果的预测和分析能用该回归方程来替代真实试验点分析。由 4 因素 A、B、C、D 得出的 F 值判断,各因素对龙眼壳、核中黄酮提取量的影响顺序为乙醇浓度 > 超声温度 > 原料目数 > 超声时间。

2.2.3 多种因素交互作用的响应面图分析 通过 Design - Expert 分析获得龙眼壳、核的黄酮提取量的响应面分析图,图 7 至图 12 为交互因素对响应面值的响应曲面及等高线图。

由图 7 - a 知,乙醇浓度的响应面曲面较陡,超声温度的曲面稍平缓,则显示出前者对龙眼壳、核中黄酮提取量的影响较大,而后者对其影响稍小;随乙醇浓度和超声温度增大,黄酮提取量增加,当两者到达某一程度时,其最大,随后呈下降趋向。图 7 - b 中等高线图呈圆形,则乙醇浓度与超声温度的交互作用较弱;沿乙醇浓度轴向的等高线较超声温度轴向聚集较多,则乙醇浓度比超声温度对黄酮提取量的影响相对明显。

表 3 方差分析

方差来源	平方和	自由度	均值	F 值	P 值
模型	128.6	14	9.190 **	10.38	<0.000 1
A(乙醇浓度)	18.5	1	18.500 **	20.90	0.000 4
B(超声温度)	3.74	1	3.740	4.23	0.058 9
C(超声时间)	0.24	1	0.240	0.27	0.610 1
D(原料目数)	1.84	1	1.840	2.08	0.171 3
AB	0.2	1	0.200	0.23	0.639 8
AC	0.2	1	0.200	0.23	0.639 8
AD	0.063	1	0.063	0.071	0.794 3
BC	0.01	1	0.010	0.071	0.916 9
BD	6.25	1	6.250 *	7.06	0.018 8
CD	5.29	1	5.290 *	5.98	0.028 8
A <sup>2</sup>	27.93	1	27.930 **	31.55	<0.000 1
B <sup>2</sup>	34.31	1	34.310 **	38.77	<0.000 1
C <sup>2</sup>	30.69	1	30.690 **	34.67	<0.000 1
D <sup>2</sup>	49.95	1	49.950 **	56.43	<0.000 1
残差	12.89	14	0.890		
失拟项	11.29	10	1.130	4.11	0.092 9

注：\*、\*\* 表示显著( $P<0.05$ )、极显著( $P<0.01$ )。

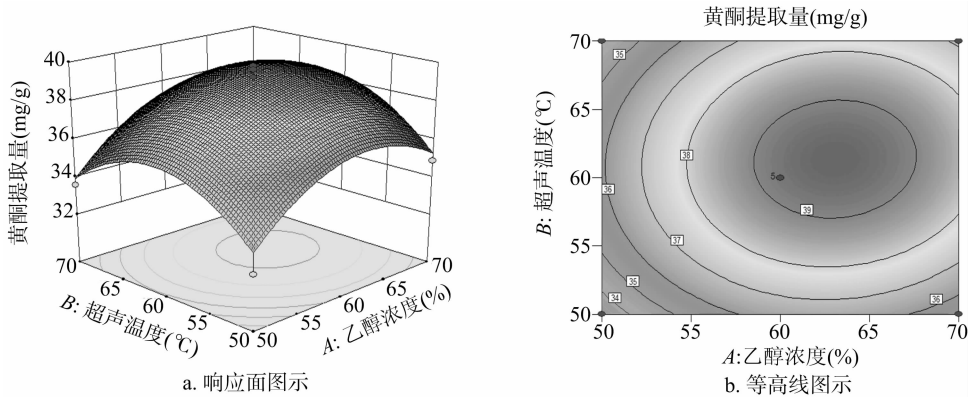


图7 乙醇浓度与超声温度对龙眼壳、核中黄酮提取量交互作用的响应面和等高线图示

由图 8 - a 知,乙醇浓度的响应面曲面较陡,超声时间的响应面曲面较平缓,则显示出前者对龙眼壳、核中黄酮提取量的影响较大,而后者对其影响稍小;随超声时间和乙醇浓度的增长,黄酮提取量增加,当两者到达某一程度时,其最大,随后

呈下降趋向。图 8 - b 中等高线图呈圆形,则超声时间与乙醇浓度的交互作用较弱;沿乙醇浓度轴向等高线较超声时间轴向聚集较多,则乙醇浓度比超声时间对黄酮提取量的影响相对明显。

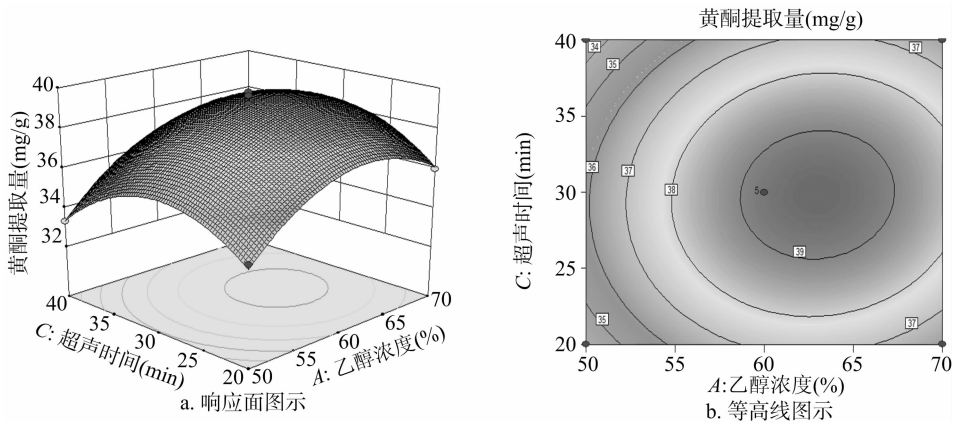


图8 超声时间与乙醇浓度对龙眼壳、核中黄酮提取量交互作用的响应面和等高线图示

由图 9 - a 知,原料目数的响应面曲面较平缓,乙醇浓度的响应面曲面较陡,则显示出前者对龙眼壳、核中黄酮提取量

的影响小,后者对其影响较大;随原料目数和乙醇浓度的增长,黄酮提取量增加,当两者到达某一程度时,其最大,随后呈

下降趋向。图 9-b 中等高线图呈圆形,则原料目数与乙醇浓度的交互作用较弱;沿乙醇浓度轴向的等高线较原料目数轴

向聚集较多,则乙醇浓度比原料目数对黄酮提取量的影响相对明显。

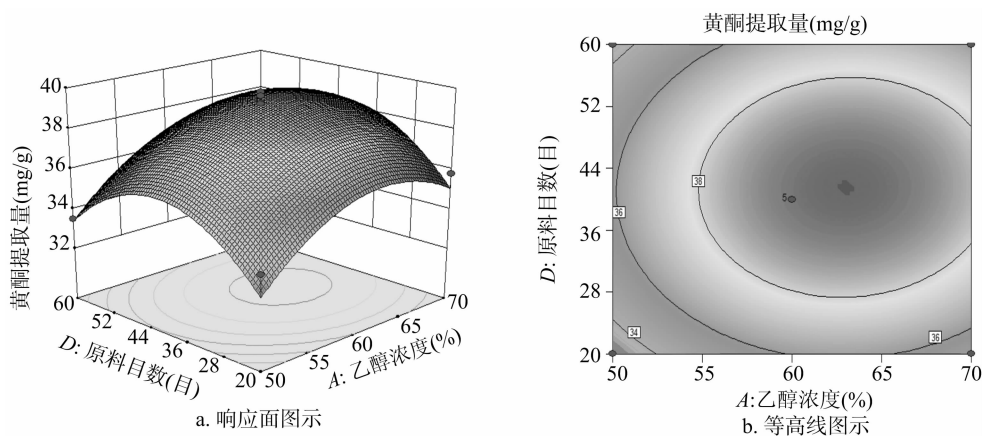


图9 原料目数与乙醇浓度对龙眼壳、核中黄酮提取量交互作用的响应面和等高线图示

由图 10-a 知,超声时间的响应面曲面稍平缓,超声温度的响应面曲面较陡,则显示出前者对龙眼壳、核中黄酮提取量的影响较小,而后者对其影响较大;随超声时间和超声温度的增长,黄酮提取量增加,当两者达到某一程度时,其最大,随后

呈下降趋向。图 10-b 中等高线图呈圆形,则显示出超声时间和超声温度的交互作用较弱;沿超声温度轴向的等高线较超声时间轴向聚集较多,则超声温度比超声时间对黄酮提取量的影响相对明显。

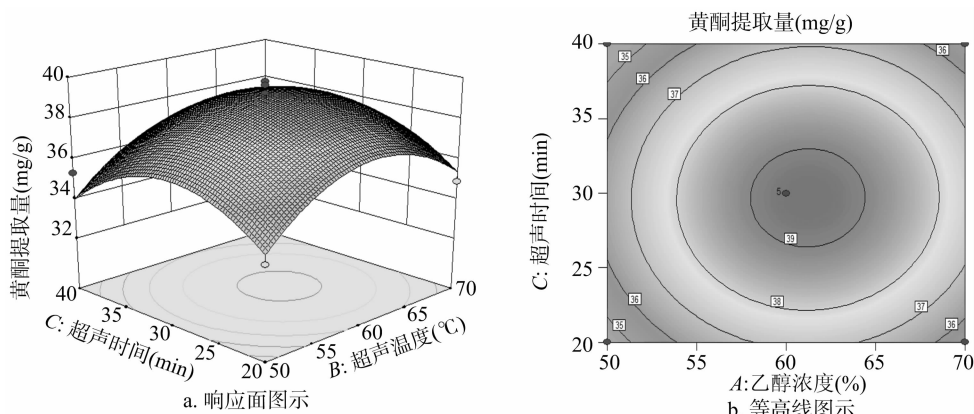


图10 超声时间与超声温度对龙眼壳、核中黄酮提取量交互作用的响应面和等高线图示

由图 11-a 知,原料目数与超声温度的响应面曲面都较平缓,则显示出两者对龙眼壳、核中黄酮提取量的影响都较小;随两者的增长,提取量增加,当两者达到某一程度时,其最大,随后呈下降趋向。图 11-b 中等高线图呈椭圆形,则原料

目数与超声温度的交互作用较强;沿超声温度轴向的等高线较原料目数轴向聚集较多,则超声温度比原料目数对黄酮提取量的影响相对明显。

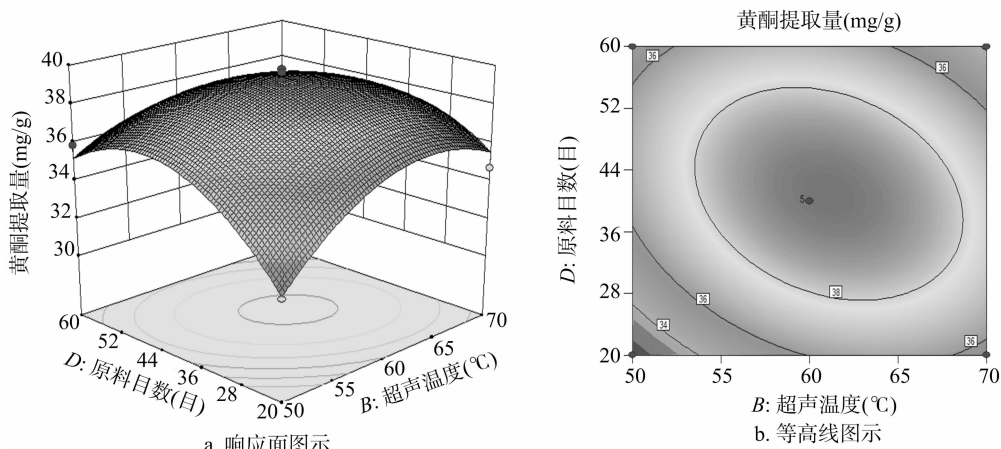


图11 原料目数与超声温度对龙眼壳、核中黄酮提取量交互作用的响应面和等高线图示

由图 12-a 知,原料目数与超声时间的响应面曲面均较平缓,则显示出两者对龙眼壳、核黄酮提取量的影响都较小;随着两者的增长,提取量增加,当两者达到某一程度时,其最大,随后呈下降趋向。图 12-b 中等高线为椭圆形,则显示出

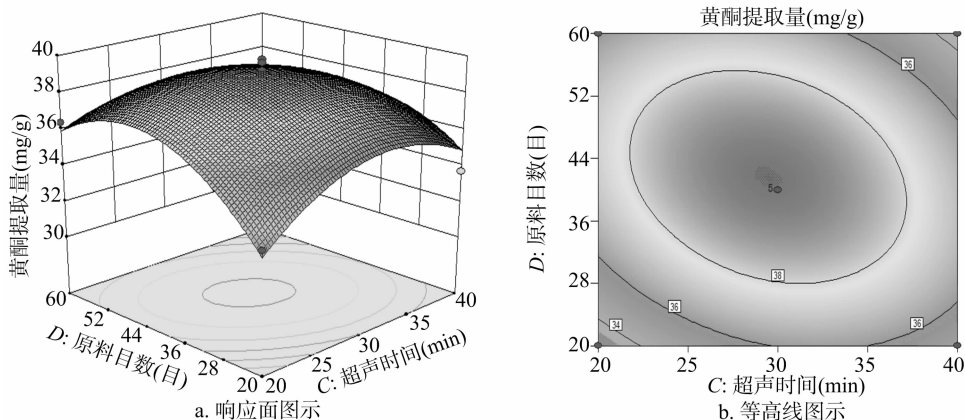


图 12 原料目数与超声时间对龙眼壳、核中黄酮提取量交互作用的响应面和等高线图示

综上所述,对龙眼壳、核中黄酮提取量影响较为明显得是乙醇浓度和超声温度,而超声时间和原料目数对其影响较小。根据等高线图中等高线的密集程度及等高线的形状最终判断出对龙眼壳、核的黄酮提取量的影响顺序为乙醇浓度 > 超声温度 > 原料目数 > 超声时间。

### 2.3 工艺条件的优化及验证试验

通过单因素试验确定料液比为 1 g : 20 mL 的条件下,利用回归模型进行分析得出的龙眼壳、核中黄酮提取最佳工艺为:乙醇浓度 63.06%、超声温度 61.20 ℃、超声时间 29.69 min、原料目数 41.13 目,黄酮提取量的理论值为 39.44 mg/g。鉴于试验操作的实际需要,修订黄酮提取的最佳工艺为:乙醇浓度 63%、超声温度 61 ℃、超声时间 30 min、原料目数 41 目。在这个前提做 3 次平行试验,得出黄酮提取量的平均实测值为 39.10 mg/g,与理论值 39.44 mg/g 比较接近,表示此试验得到的回归方程与真实情况偏差较小,充分证明了该方程的可靠性。

## 3 结论

本试验是在进行了 5 个单因素试验的基础上应用响应面分析法设计了 4 因素 3 水平试验,并通过 Design - Expert 8.0 软件进行回归分析获得龙眼壳、核的黄酮提取量的最佳提取工艺。在试验可行性的前提下,确定龙眼壳、核中黄酮提取的最佳提取工艺为:料液比 1 g : 20 mL、乙醇浓度 63%、超声温度 61 ℃、超声时间 30 min、原料目数 41 目,实际黄酮提取量为 39.10 mg/g。

### 参考文献:

- [1] 梁志,黄银娇,谭映珊,等. 龙眼壳总黄酮提取工艺研究[J]. 云南化工,2008,35(3):30-32,35.
- [2] 肖更生,黄儒强,曾庆孝,等. 龙眼核的营养成分[J]. 食品科技,2004,24(1):93-94.
- [3] 熊俐,周健,曹新志,等. 桂圆壳总黄酮的超声波提取工艺优化及其抑菌效果的研究[J]. 食品与发酵科技,2011,57(4):30-

原料目数与超声时间的交互作用较强;沿原料目数轴向的等高线较超声时间轴向聚集较多,则原料目数比超声时间对黄酮提取量的影响相对明显。

- 33.
- [4] 姜莉莉. 浅谈黄酮类化合物的提取研究进展[J]. 科教文汇,2011,22(22):105-106.
- [5] 贤景春,陈美赢. 超声提取龙眼核总黄酮量的工艺[J]. 食品研究与开发,2010,31(4):5-7.
- [6] 关恺珍,程轩轩,张旭红,等. 响应面法优化龙眼核中总黄酮的提取工艺[J]. 今日药学,2014,8(1):18-22.
- [7] 周孟清,陈辉. 微波辅助法提取龙眼壳中黄酮类化合物的研究[J]. 江西饲料,2010,9(5):13-15.
- [8] Panyathep A, Chewonarin T, Taneyhill K A, et al. Inhibitory effects of dried longan (*Euphoria longana* Lam.) seed extract on invasion and matrix metalloproteinases of colon cancer cells [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2013, 61(15):3631-3641.
- [9] Wang H M, Zhang X H, Li Y X, et al. Antitumor activity of a polysaccharide from longan seed on lung cancer cell line A549 *in vitro* and *in vivo* [J]. Tumor Biology, 2014, 35(7):7259-7266.
- [10] Yang J B, Yu M Q, Chen W T. Adsorption of hexavalent chromium from aqueous solution by activated carbon prepared from longan seed; kinetics, equilibrium and thermodynamics [J]. Journal of Industrial and Engineering Chemistry, 2015, 21(8):414-422.
- [11] Thitiratsakul B, Anprung P. Prebiotic activity score and bioactive compounds in longan (*Dimocarpus longan* Lour.): influence of pectinase in enzyme-assisted extraction [J]. Food Science and Technology, 2014, 51(9):1947-1955.
- [12] 王倩,常丽新,贾长虹,等. 超声波法提取狗枣猕猴桃叶黄酮的工艺[J]. 食品研究与开发,2012,27(2):43-47.
- [13] 古丽巴哈尔·卡吾力,高晓黎,常占瑛,等. 黑果枸杞总黄酮提取工艺优化及抗氧化活性[J]. 江苏农业科学,2017,45(22):213-217.
- [14] 余先纯,王向军. 柚皮黄酮的提取工艺及红外光谱分析[J]. 江苏农业科学,2017,45(4):137-139.
- [15] 常丽新,贾长虹,郁春乐. 响应面优化玉米芯黄酮的提取工艺研究[J]. 食品工业科技,2014,32(2):259-263,290.
- [16] 夏海涛,刘玉芬,董超男,等. 响应曲面法优化野生马兰头总黄酮的提取工艺[J]. 食品科学,2011,21(24):191-195.