

· 研究报告 ·

## 响应面优化微波辅助绿茶茶多酚提取工艺

马小雨<sup>1</sup>, 罗彩萍<sup>1</sup>, 刘悦<sup>1,2</sup> (1. 海军军医大学药学院, 上海 200433; 2. 上海市药物(中药)代谢产物研究重点实验室, 上海 200433)

**[摘要]** 目的 优化微波辅助绿茶茶多酚的提取工艺。方法 建立没食子酸标准曲线, 通过引入校正因子测定绿茶提取液中茶多酚浓度以计算茶多酚提取得率; 重点研究微波提取时间、微波输出功率、料液比、乙醇体积分数 4 项单因素水平对茶多酚提取得率的影响, 初步确定 4 项单因素水平的适宜范围, 并采用响应面法进一步提高绿茶茶多酚提取工艺。结果 最佳提取工艺为: 提取时间 37 s、微波输出功率 350 w、料液比 1 : 45 (g/ml)、乙醇体积分数 55%, 茶多酚实际提取得率为 25.65%, 与理论值相差不大。结论 响应面优化的微波辅助绿茶茶多酚提取工艺省时可行、提取得率较高。

**[关键词]** 绿茶; 茶多酚; 含量测定; 响应面优化; 提取工艺

**[文章编号]** 2097-2024(2023)02-0119-06 **[DOI]** 10.12206/j.issn.2097-2024.202205009

## Optimization of microwave-assisted extraction of green tea polyphenols by response surface methodology

MA Xiaoyu<sup>1</sup>, LUO Caiping<sup>1</sup>, LIU Yue<sup>1,2</sup> (1. School of Pharmacy, Naval Medical University, Shanghai 200433, China; 2. Shanghai Key Laboratory for Pharmaceutical Metabolite Research, Shanghai 200433, China)

**[Abstract]** **Objective** To optimize the microwave-assisted extraction process of green tea polyphenols. **Methods** The extraction yield of tea polyphenols was figured up by building the standard curve of gallic acid and examining the concentration of tea polyphenols in green tea extract with the introduction of a correction factor. The effects of four single factor levels of microwave extraction time, microwave output power, liquid-to-material yield, and ethanol volume fraction on the extraction yield of tea polyphenols were primarily studied in this experiment. The response surface was applied to further optimize the extraction process of green tea polyphenols after exploring the appropriate range of four single factor levels. **Results** The optimal extraction process was as follows: extraction time 37 s, microwave output power 350 w, material - liquid yield 1 : 45 (g/ml), ethanol volume fraction 55%, and the actual extraction yield of tea polyphenols was 25.65%, which was not much different from the theoretical value. **Conclusion** The microwave-assisted green tea polyphenol extraction process optimized by response surface methodology is time-saving and practicable, and the extraction yield is high.

**[Key words]** green tea; tea polyphenols; content determination; response surface optimization; extraction process

我国的绿茶资源十分丰富, 茶多酚系指绿茶中富含的多种酚类化合物, 在绿茶中含量约为 15% ~ 30%<sup>[1]</sup>, 具有降低血压、调血脂、抗菌消炎、治疗放射损伤、预防骨质疏松、减肥、抗癌、抗氧化衰老等广泛的药理作用<sup>[2-7]</sup>。

随着大众对天然健康产品需求日益增长, 茶多酚市场展现出强劲的发展动力, 茶多酚的提取工艺仍是影响茶多酚制品深加工和跨界开发利用的重要环节<sup>[8]</sup>。溶剂萃取法、超声提取法、微波提取法、生物酶提取法和超临界萃取法 (SFE) 等是业内

常用的茶多酚提取方式<sup>[9]</sup>。传统有机溶剂萃取操作简便但存在提取得率及纯度低、溶剂残留、耗时长等缺点; 超临界萃取法效率高但设备投资高因而推广性不强; 酶辅助提取条件温和、环境友好, 但成本较高, 酶制剂易残留; 超声提取法具有高效、快速的优点, 常与溶剂萃取法结合, 以提高茶多酚得率并提升企业经济效益, 但提取时间过长会影响提取效果<sup>[9-12]</sup>; 微波提取法以穿透力强、可供选择溶剂较多且用量少、产物活性优良等为优势, 适用于耐热成分的提取<sup>[13-16]</sup>。常见的提取工艺优化方法有均匀试验、正交试验 (OED)、响应面优化 (RSM) 等<sup>[17]</sup>, 均匀试验适用于多因素、多水平情况但追求最大化均匀性、忽略部分正交性导致了结果的不稳定性<sup>[18-20]</sup>, 正交试验具有试验量少的优点但最佳参数仅局限

**[基金项目]** 上海市科学技术委员会“启明星”项目 (21QA1411600)

**[作者简介]** 马小雨, 药学本科生, Email: mxy20230901@163.com

**[通信作者]** 刘悦, 硕士生导师, 研究方向: 药物分析, Email: lyue2015@163.com

于已设水平的组合<sup>[21]</sup>,在更加广泛的范围内考察各因素间的交互作用并希望得到高精度的回归方程则多采用响应面优化法<sup>[22]</sup>。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材料与试剂

高级绿茶,实验前置于 50 °C 烘箱干燥,研磨至细粉;茶多酚标准品(含量≥98%,乐美天医药科技有限公司)。

试剂:无水乙醇、 $\text{KH}_2\text{PO}_4$ 、 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ (分析纯,中国医药集团上海化学试剂公司);没食子酸(纯度≥98%)、四水合酒石酸钠钾(分析纯,德国 Ehrenstorfer 公司)。

### 1.2 仪器

仪器:IS09001 电子分析天平(德国 Sartorius 公司);G70D20CN1P-D2(S0) 微波炉(广东格兰仕有限公司);ANPEL 2300TH 超声波清洗器(上海安谱有限公司);UV2310 紫外-可见分光光度计[天美(中国)科学仪器有限公司];DHG-9240A 电热恒温鼓风干燥箱(上海一恒科学仪器有限公司)。

### 1.3 方法

#### 1.3.1 溶液的配制

(1)精密称取 0.252 5 g  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 、1.251 3 g 四水合酒石酸钠钾,置于 250 ml 容量瓶中,加入适量的蒸馏水充分溶解后稀释定容,摇匀即得酒石酸亚铁溶液。

(2)精密称取 2.268 2 g  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  置于 250 ml 容量瓶中,加入适量的蒸馏水并用超声波辅助溶解,蒸馏水稀释定容,摇匀即得 0.066 67 mol/L  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$  水溶液;精密称取 23.876 0 g  $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$  置于 1000 ml 容量瓶中,加入适量的蒸馏水并用超声波辅助溶解,蒸馏水稀释定容,摇匀即得 0.066 67 mol/L  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  水溶液。将上述磷酸二氢钾水溶液和磷酸氢二钠水溶液以 3 : 17 的配比混合,搅匀,即得 pH=7.5 的磷酸盐缓冲液<sup>[16]</sup>。

(3)精密称取没食子酸 0.050 0 g 于 50 ml 容量瓶,加入适量的蒸馏水充分溶解后,蒸馏水稀释定容,摇匀即得 1.0 mg/ml 的没食子酸标准溶液。

(4)精密称取茶多酚标准品 0.015 0 g 于 10 ml 容量瓶,加入适量的蒸馏水充分溶解后,蒸馏水稀释定容,摇匀即得 1.5 mg/ml 茶多酚标准品母液。

#### 1.3.2 标准曲线的绘制

没食子酸标准曲线绘制:取 25 ml 棕色容量瓶,分别加入 0.00、0.25、0.50、0.75、1.0、1.25ml 的没食子酸标准溶液,再加入 4.00 ml 蒸馏水和 5.00 ml

酒石酸亚铁溶液,最后加入磷酸盐缓冲液稀释定容,摇匀即得 0.00、10.00、20.00、30.00、40.00、50.00  $\mu\text{g/ml}$  没食子酸系列标准溶液。以 0.00  $\mu\text{g/ml}$  没食子酸溶液作为参比溶液,测定波长为 540 nm 对应的吸光度,绘制没食子酸标准曲线并计算线性回归方程<sup>[23,24]</sup>。

茶多酚标准品校正因子  $f$  测定:精密量取茶多酚标准品母液 0.50 ml 于 25 ml 容量瓶,照上述没食子酸标准曲线绘制中的溶液配制方法,即得 30.00  $\mu\text{g/ml}$  茶多酚标准品溶液。测定 540 nm 波长对应吸光度,将此数据代入没食子酸标准曲线回归方程求算  $\rho_{\text{没食子酸}}$ ,按下列公式即可求得  $f$ 。

$$f = \frac{\rho_{\text{茶多酚标准品}}}{\rho_{\text{没食子酸}}} = \frac{30.00}{\rho_{\text{没食子酸}}}$$

#### 1.3.3 绿茶中茶多酚提取及提取得率测定

准确称取 1.0 g 高级绿茶粉末于 250 ml 锥形瓶,以不同提取条件微波辅助提取,提取液减压抽滤并弃去茶饼,准确量取澄清提取液的体积后保存适量提取液,精密量取 0.30 ml 于 25 ml 棕色容量瓶,再加入 4.00 ml 蒸馏水和 5.00 ml 酒石酸亚铁溶液,最后加入磷酸盐缓冲液稀释定容,摇匀即得提取液样品溶液。在波长 540 nm 处测定吸光度,茶多酚提取得率按下列公式计算:

$$\text{茶多酚提取得率} = \frac{nf\rho V}{m10^{-6}} \times 100\%$$

式中: $n$  为稀释倍数; $f$  为校正因子; $\rho$  为没食子酸质量浓度 ( $\mu\text{g/ml}$ ); $m$  为茶叶质量 (g); $V$  为提取液体积 (ml)<sup>[24]</sup>。

#### 1.3.4 单因素实验

以提取时间、微波输出功率、乙醇体积分数、料液比为 4 项考察因素,设计相应的 5 个适宜水平进行茶多酚提取(见表 1),按“1.3.3”项下方法进行吸光度测定,计算茶多酚提取得率。

#### 1.3.5 响应面优化试验

依据单因素实验数据,选定各单因素的适宜水平,使用 Design Expert 12.0.3.0 统计软件下 Box-Behnken 方法<sup>[25]</sup>,把茶多酚提取得率作为响应值,设计四个因素三种水平优化提取工艺进行响应面实验,得到各因素与响应值的二次多项回归方程及方差分析模型,预测最佳提取工艺并进行验证。

## 2 结果与分析

### 2.1 没食子酸标准曲线

如图 1,在没食子酸 0.00 ~ 50.00  $\mu\text{g/ml}$  浓度范围内,没食子酸标准曲线方程:  $A=0.015 9\rho+0.003 7$

表1 单因素实验条件

因素	水平					提取条件
提取时间( <i>t</i> /s)	10	30	50	70	90	350 w, 60% 乙醇, 料液比1:60
微波输出功率( <i>w</i> )	70	210	350	490	630	50 s, 60% 乙醇, 料液比1:60
乙醇体积分数(%)	0	20	40	60	80	50 s, 350 w, 料液比1:60
料液比(ml/g)	1 : 20	1 : 40	1 : 60	1 : 80	1 : 100	50 s, 350 w, 60% 乙醇

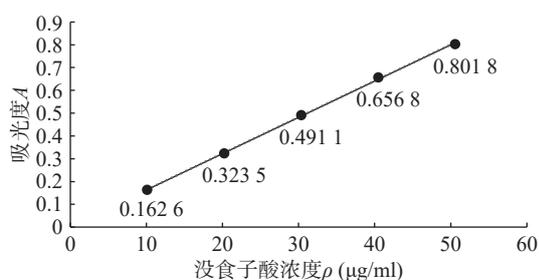


图1 没食子酸标准曲线

( $r=0.9997$ ), 吸光度  $A$  和没食子酸浓度  $\rho$  线性关系良好。

## 2.2 单因素对茶多酚提取得率的影响

### 2.2.1 提取时间对茶多酚提取得率的影响

如图2所示, 固定微波输出功率、料液比、乙醇体积分数, 提取时间在10~90 s范围内, 随着提取时间延长, 茶多酚提取得率先增大后减小, 提取时间为50 s时, 茶多酚提取得率最大值为24.93%。原因推测由于时间过长, 茶叶中除了茶多酚的其他易溶于乙醇的成分被提取出来, 导致茶多酚的醇提液饱和<sup>[26]</sup>。因此最佳提取时间为50 s。

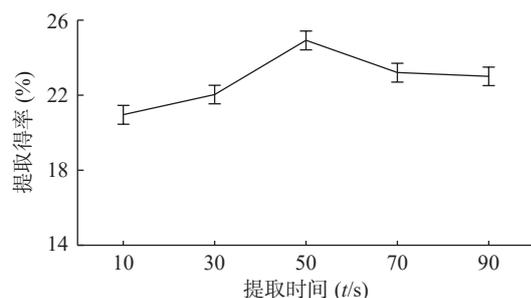


图2 提取时间对茶多酚提取得率的影响

### 2.2.2 微波功率对茶多酚提取得率的影响

如图3所示, 固定提取时间、料液比、乙醇体积分数, 微波输出功率在70~630 w范围内, 茶多酚提取得率随微波功率的增加先上升后小幅降低, 在提取时间为350 w时, 茶多酚提取得率达到24.27%, 为70~630 w范围内的最大值。原因推测为微波输出功率过低无法有效破碎细胞使其释放茶多酚, 过高导致茶多酚被氧化破坏<sup>[27]</sup>。因此最佳微波输出功率为350 w。同时, 当微波输出功率为210 w

和490 w时, 茶多酚提取得率相对于其他功率下较高, 提示我们考察微波输出功率影响时, 其范围可适当拓宽。

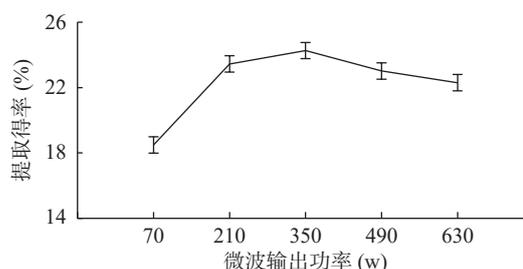


图3 微波输出功率对茶多酚提取得率的影响

### 2.2.3 料液比对茶多酚提取得率的影响

如图4所示, 固定提取时间、微波输出功率、乙醇体积分数的条件下, 料液比在1:20 (g/ml)~1:100 (g/ml)范围内, 茶多酚提取得率随料液比增加先增加, 后逐渐稳定, 在料液比为1:40 (g/ml)和1:60 (g/ml)时, 茶多酚提取得率分别达到24.95%和24.96%(最大值)。原因推测为料液比过低时溶剂量不足, 导致提取不完全, 由于料液比过高, 茶多酚已经达到了较大溶出度、其他杂质溶出部分竞争茶多酚溶出空间<sup>[28]</sup>。因此最佳料液比为1:60 (g/ml)。

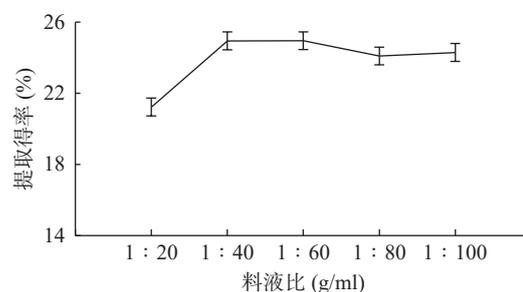


图4 料液比对茶多酚提取得率的影响

### 2.2.4 乙醇体积分数对茶多酚提取得率的影响

如图5所示, 固定提取时间、微波输出功率、料液比, 乙醇体积分数在0%~80%范围内, 随着乙醇体积分数增加, 茶多酚提取得率先增大后减小, 乙醇体积分数为60%时, 茶多酚提取得率最大值24.59%。因此, 最佳乙醇体积分数为60%。同时,

把乙醇体积分数为 0% 与其他水平时对应的提取得率做对比, 我们可以发现乙醇提取茶多酚效率远高于纯水提取。

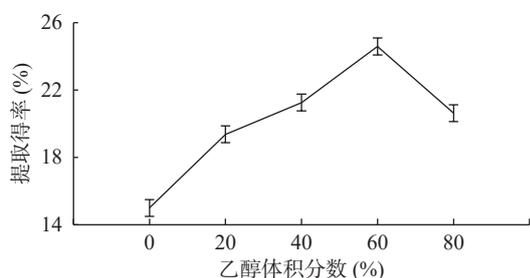


图 5 乙醇体积分数对茶多酚提取得率的影响

### 2.3 茶多酚提取得率的响应面分析

#### 2.3.1 茶多酚提取得率的响应面实验设计及结果

根据单因素实验中各因素水平对茶多酚提取得率的影响结果, 按照表 2 的响应面设计方案并进行实验, 结果如表 3 所示。

表 2 响应面设计各因素及水平

因素	编号	水平		
		-1	0	1
提取时间(t/s)	A	30	60	90
微波输出功率(w)	B	70	350	630
料液比(g/ml)	C	1 : 20	1 : 40	1 : 60
乙醇体积分数(%)	D	40	60	80

#### 2.3.2 茶多酚提取得率的响应面数据回归方程拟合和方差分析:

把提取时间 (A)、微波输出功率 (B)、料液比 (C)、乙醇体积分数 (D) 作为自变量, 茶多酚提取得率 (%)Y 作为因变量, 进行回归方程拟合和方差分析, 得回归方程如下:

回归模型极显著 ( $P < 0.0001$ ), 失拟项不显著 ( $P > 0.05$ ),  $r = 0.9670$ , 结果表明优化条件下茶多酚提取得率的实际值与二次回归方程的预测值吻合良好(表 4), 说明该数学模型适用于高级绿茶中茶多酚提取工艺的预测。其中, A、C、D、AB、 $B^2$ 、 $C^2$ 、 $D^2$  对响应值茶多酚提取得率的影响极显著 ( $P < 0.01$ ), B、 $A^2$  对响应值茶多酚提取得率的影响显著 ( $P < 0.05$ )。

#### 2.4 响应面可视化分析

将提取时间 A、微波输出功率 B、料液比 C、乙醇体积分数 D 中任意两个因素作为  $X_1$ 、 $X_2$ , 将茶多酚提取得率设为响应值 Z, 创建两个因素相互作用的响应平面图。3D 曲线单因素方向坡度越陡即斜率越大, 反映出该单因素对茶多酚提取得率的

表 3 响应面实验条件及结果

序号	A	B	C	D	提取得率(%)
1	0	1	1	0	21.24
2	0	1	-1	0	15.86
3	0	0	-1	1	12.67
4	0	1	0	-1	19.55
5	0	0	1	-1	21.63
6	1	0	0	1	20.58
7	1	0	-1	0	16.50
8	1	0	0	-1	20.61
9	0	-1	-1	0	19.76
10	-1	0	0	-1	24.61
11	-1	0	1	0	23.69
12	0	-1	0	-1	23.53
13	0	0	0	0	25.61
14	0	0	0	0	25.52
15	0	0	0	0	24.22
16	1	0	1	0	23.04
17	0	-1	1	0	20.01
18	1	-1	0	0	22.29
19	0	0	0	0	25.67
20	-1	1	0	0	23.71
21	-1	0	0	1	20.85
22	0	-1	0	1	18.21
23	-1	0	-1	0	19.57
24	0	0	0	0	26.86
25	0	1	0	1	19.55
26	0	0	1	1	21.40
27	0	0	-1	-1	16.37
28	1	1	0	0	15.62
29	-1	-1	0	0	22.49

影响越具显著性; 3D 曲线越陡、等高线轮廓呈椭圆形, 反映两个因素交互作用对茶多酚的提取得率有更显著的影响<sup>[29-32]</sup>。结合方差分析表, 各因素对茶多酚提取得率的影响如下: 料液比 (C) > 提取时间 (A) > 乙醇体积分数 (D) > 微波输出功率 (B)。同时, 图 6 直观显示提取时间 A 和微波输出功率 B 交互作用对茶多酚提取得率的影响极为显著, 其余因素间交互作用不显著, 各交互作用对茶多酚提取得率的影响如下: AB > BD > BC > AD > CD > AC。

#### 2.5 茶多酚最佳提取工艺及验证

利用所得二次回归方程模型预测绿茶中茶多酚的最佳提取工艺为: 提取时间 37.41 s、微波输出功率 369.28 w、料液比 1 : 45.13 (g/ml)、乙醇体积

表4 回归方程模型显著性分析表

分析项	平方和	自由度	均方	F值	P值
回归模型	321.40	14	22.31	14.41	<0.0001
A	22.10	1	22.10	14.28	0.0020
B	9.64	1	9.64	6.23	0.0257
C	76.35	1	76.35	49.32	<0.0001
D	14.14	1	14.14	9.14	0.0091
AB	15.57	1	15.57	10.06	0.0068
AC	1.46	1	1.46	0.9436	0.3478
AD	3.46	1	3.46	2.23	0.1573
BC	6.60	1	6.60	4.26	0.0580
BD	7.09	1	7.09	4.58	0.0504
CD	3.01	1	3.01	1.95	0.1846
A <sup>2</sup>	9.83	1	9.83	6.35	0.0245
B <sup>2</sup>	47.31	1	47.31	30.56	<0.0001
C <sup>2</sup>	101.70	1	101.70	65.70	<0.0001
D <sup>2</sup>	57.82	1	57.82	37.35	<0.0001
残差	21.67	14	1.55		
失拟项	18.18	10		2.08	0.2497
净误差	3.49	4			
总差	334.08	28			

分数 55.44%，该优化条件下茶多酚预测提取率为 26.42%。从实际实验条件出发，将最佳提取条件修改为：微波提取时间 37s、微波输出功率 350 w、料液比 1 : 45 (g/ml)、乙醇体积分数 55%，并进行三次平行重复实验验证，茶多酚平均提取率为 25.56%。

### 3 讨论与结论

茶多酚是绿茶中的一类多酚活性物质，本实验通过建立没食子酸标准曲线、引入校正因子测算茶多酚提取率。从支持绿色工艺和溶剂常用性角度，本实验采用常见的食品级溶剂乙醇萃取技术取代传统的有害有机溶剂萃取技术<sup>[12]</sup>。基于响应面优化法试验次数少、周期短优势<sup>[14]</sup>，为解决前期文献中有关微波提取茶多酚的报道大多局限于单因素实验研究而缺乏优化的系统实验方案<sup>[33]</sup>、各因素水平选取范围参差不齐<sup>[13, 34]</sup>以及其他工艺优化方法低精度、预测差等问题，本实验考察了微波提取时间、微波输出功率、料液比、乙醇体积分数 4 个单因素对茶多酚提取率的影响，并确定各单因素适宜范围，在此基础上采用响应面优化方法预测了最佳提取条件，考虑到实际生产所需调整茶多酚最佳提取条件，并进行三次平行重复实验验证。

实验结果表明响应面设计茶多酚提取率实际值与理论值相差不大，证明响应面实验设计在优化茶多酚提取工艺方面具有可靠性。综上，响应面优化微波辅助茶多酚的提取工艺具有操作性强、生产周期短、生产成本较低、准确度高、稳定性强的优势，能同步考察较多因素对工艺的综合影响，为茶多酚的实际生产领域提供技术支撑，在茶多酚大规模工业化生产方面具有较大的应用潜力<sup>[35, 36]</sup>。

### 【参考文献】

- [1] 陈峰, 尹鹏, 郭桂义, 等. 响应面法优化提取绿茶茶多酚工艺研究[J]. 茶叶通讯, 2020, 47(4): 659-664.
- [2] DENG G Y, WU Y, SONG Z Y, et al. Tea polyphenol liposomes overcome gastric mucus to treat *Helicobacter pylori* infection and enhance the intestinal microenvironment[J]. *ACS Appl Mater Interfaces*, 2022, 14(11): 13001-13012.
- [3] WANG D X, WANG T T, LI Z M, et al. Green tea polyphenols upregulate the Nrf2 signaling pathway and suppress oxidative stress and inflammation markers in D-galactose-induced liver aging in mice[J]. *Front Nutr*, 2022, 9: 836112.
- [4] YE Y S, WARUSAWITHARANA H, ZHAO H Y, et al. Tea polyphenols attenuates inflammation via reducing lipopolysaccharides level and inhibiting TLR4/NF-κB pathway in obese mice[J]. *Plant Foods Hum Nutr*, 2022, 77(1): 105-111.
- [5] 李露, 吕佳倩, 江承佳, 等. 茶多酚对心血管保护作用的研究进展[J]. 食品科学, 2016, 37(19): 283-288.
- [6] 叶晴, 刘毅, 陈金鹏, 等. 绿茶化学成分及药理作用研究进展[J]. 药物评价研究, 2021, 44(12): 2711-2719.
- [7] RAJAN L, RADHAKRISHNAN A, ALAGARSAMY K N, et al. Green tea polyphenols in cardiometabolic health: a critical appraisal on phyto-genomics towards personalized green tea[J]. *PharmaNutrition*, 2022, 20: 100296.
- [8] 左小博, 孔俊豪, 杨秀芳, 等. “十三五”期间我国茶叶深加工科技发展报告[J]. 中国茶叶加工, 2021(3): 5-11.
- [9] 杨新, 陈莉, 卢红梅, 等. 茶多酚提取与纯化方法及其功能活性研究进展[J]. 食品工业科技, 2019, 40(5): 322-328, 332.
- [10] 郝治华, 李颖, 张唐伟, 等. 响应曲面法优化复合酶提取林芝绿茶中茶多酚工艺[J]. 河北师范大学学报(自然科学版), 2021, 45(1): 53-60.
- [11] 李文婷, 车振明, 罗梦莹. 超临界CO<sub>2</sub>萃取绿茶中茶多酚工艺的研究[J]. 食品工业, 2011, 32(7): 22-24.
- [12] 左小博, 孔俊豪, 杨秀芳, 等. 茶多酚产业现状与发展展望[J]. 中国茶叶加工, 2019(4): 14-20.
- [13] 李刚凤, 汪辉喜, 陈仕学, 等. 微波法提取低档绿茶多酚工艺研究[J]. 粮食与油脂, 2015, 28(1): 60-62.
- [14] 李石敬敏, 许军, 高颖洁, 等. 超声-离子沉淀法提取茶多酚及茶多酚还原修饰石墨烯研究[J]. 化工技术与开发, 2018, 47(6): 14-18.
- [15] 王凯博, 逢涛, 陶丽红, 等. 废弃茶叶中茶多酚的超声波辅助提取及纯化工艺研究[J]. 云南农业大学学报(自然科学), 2016, 31(5): 959-966.

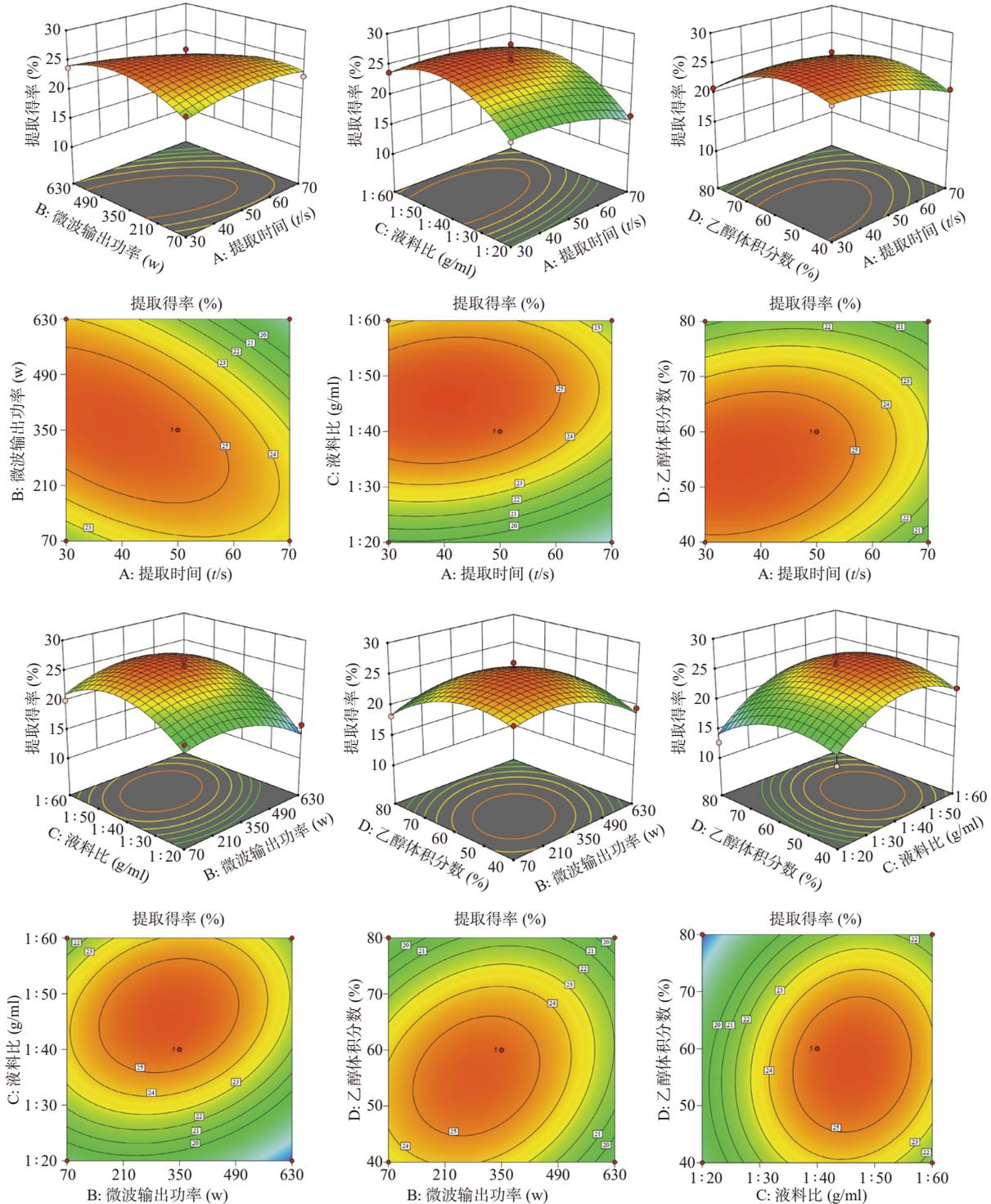


图6 各因素交互作用对茶多酚提取得率响应面和等高线图

[16] 张龙笛. 南丰蜜桔果皮精油和果胶的分离提取研究[D]. 南昌: 江西科技师范大学, 2021.

[17] 赵少甫, 韩伟. 试验设计与优化方法在中药提取中的应用[J]. 机电信息, 2016(20): 38-45.

[18] 孙丽娜, 杨源涛, 王雪怡, 等. 响应面优化法在药学领域的应用[J]. 科技创新与应用, 2017(23): 36-37.

[19] 魏佳宁, 郝昊, 常雷通, 等. 基于演化算法的约束区域均匀仿真实验设计方法[J]. 系统仿真学报, 2021, 33(7): 1591-1599.

[20] 杨晓丽, 徐云惠, 陈静. 应用MATLAB实现茶多酚提取均匀试验设计数据的高效拟合[J]. 昭通学院学报, 2014, 36(5): 32-35.

[21] 王跃生, 欧阳旭, 王丹辉, 等. 数学模式试验设计方法的优缺点比较及其在中药研究应用中的适宜性分析[J]. 中药新药与临床药理, 2010, 21(2): 207-210.

(下转第 134 页)

- [18] 黄芳, 荣朝, 薛承斌, 等. 高校社区的居家药学服务模式的建立与实践[J]. 中国社区医师, 2020, 36(22): 192-193.
- [19] 任常谕, 干小红, 张志勇. “互联网+药学服务”发展现状及对策探讨[J]. 中国药业, 2022, 31(9): 11-14.
- [20] 皇甫天然, 何炳洪, 邓艳辉, 等. 医联体总药师制度促进基层医疗机构合理用药的实践与探索[J]. 中国药房, 2022, 33(6): 753-757.
- [21] 蒋立英. 药学服务现状及社区居家药学服务对策研究[J]. 家庭科技, 2021(3): 63-64.
- [22] 陶代娣. 老年住院共病患者衰弱状况及其危险因素研究[D]. 合肥: 安徽医科大学, 2022.
- [23] 钟超, 万春燕, 于丽娟, 等. 基于“互联网+”的多维度用药咨询体系的建立和实践[J]. 中国医院用药评价与分析, 2022, 22(2): 252-256.
- [24] 廖瑞斌, 翁开源, 陈洪进, 等. 社区卫生服务机构药学服务模式研究[J]. 中国药事, 2014, 28(6): 660-663.
- [25] 郭潇雅. 居家药师的安徽实践[J]. 中国医院院长, 2021, 17(12): 75-77.
- [26] 梁善子. 社区医疗药学服务的现状及对策[J]. 中国中医药现代远程教育, 2014, 12(4): 124.
- [27] BAIRD A B, ABODE A M, HOLLAND C R, et al. Using pharmacy technicians to maximize pharmacist intervention with home health service patients[J]. J Am Pharm Assoc (2003), 2020, 60(3S): S103-S107.
- [28] LEONG M Q, LIM C W, LAI Y F. Comparison of Hospital-at-Home models: a systematic review of reviews[J]. BMJ Open, 2021, 11(1): e043285.
- [29] 栗芳, 陈张勇, 吐达洪, 等. 基于我国标准社区老年患者潜在不适当用药分析[J]. 临床药物治疗杂志, 2022, 20(6): 58-62.
- [30] 邵南齐, 马记平, 高青, 等. 社区药学服务的现状分析及对策[J]. 中国医药科学, 2018, 8(24): 251-253.
- [收稿日期] 2022-08-24 [修回日期] 2022-12-25  
[本文编辑] 陈盛新

## (上接第 124 页)

- [22] BETTIN F, COUSSEAU F, MARTINS K, et al. Effects of pH, temperature and agitation on the decolourisation of dyes by laccase-containing enzyme preparation from *Pleurotus sajor-caju*[J]. Braz Arch Biol Technol, 2019, 62(03): e19180338-e19180359.
- [23] 曾光远, 王飞. 影响酒石酸铁比色法测定结果的因素[J]. 监督与选择, 2008(S1): 67-69.
- [24] 邓祥, 韩伟. 酒石酸亚铁-标准曲线法检测绿茶提取物中茶多酚含量[J]. 南京工业大学学报(自然科学版), 2020, 42(5): 677-682.
- [25] 张小荣, 耿广琴, 赵沙沙, 等. Box-Behnken响应面法优化红芪多糖水提醇沉工艺研究[J]. 中兽医医药杂志, 2022, 41(2): 7-14.
- [26] SANG S M, LAMBERT J D, HO C T, et al. The chemistry and biotransformation of tea constituents[J]. Pharmacol Res, 2011, 64(2): 87-99.
- [27] 蒋丽, 王雪梅, 全学军, 等. 不同提取方法对茶多酚理化性质的影响[J]. 食品科学, 2010, 31(14): 136-139.
- [28] DRUZYNSKA B, STEPNIWSKA A, WOLOSIAK R. The influence of time and type of solvent on efficiency of the extraction of polyphenols from green tea and antioxidant properties obtained extracts[J]. Acta Sci Pol Technol Aliment, 2007, 6(1): 87-99.
- [29] 兰林, 汪晟羽, 张晋森, 等. 响应面法优化竹叶青茶末中茶氨酸的提取工艺[J]. 茶叶通讯, 2021, 48(4): 701-706, 711.
- [30] 叶文斌, 马应丽, 李娜, 等. 响应面法优化陇南黄樱桃低糖保健酱配方研究[J]. 保鲜与加工, 2021, 21(12): 51-58.
- [31] 赵滢, 刘利娥, 韩萍, 等. 响应面法优化超声辅助提取蔓菁多糖工艺及其体外抗氧化性研究[J]. 食品工业科技, 2020, 41(7): 139-145.
- [32] 朱莹, 陈红名, 白雅芝, 等. 响应面法优化超声辅助提取芒果多糖工艺[J]. 吉林医药学院学报, 2021, 42(2): 90-93.
- [33] 谢小花, 戴缘缘, 陈静, 等. 微波法从绿茶中提取茶多酚的工艺研究[J]. 佳木斯大学学报(自然科学版), 2019, 37(3): 443-446.
- [34] 徐方祥, 郑博文, 苏袁宁, 等. 微波辅助双水相提取绿茶中茶多酚的研究[J]. 食品工业科技, 2017, 38(17): 188-192, 201.
- [35] 成荣敏, 詹从红, 夏婷婷, 等. 响应面分析法及其在大学化学实验中的应用研究[J]. 化学教育(中英文), 2021, 42(2): 30-33.
- [36] 张扬, 钱磊, 訾惠君, 等. 响应面分析法在食用菌领域的应用[J]. 中国食用菌, 2021, 40(5): 1-4.
- [收稿日期] 2022-05-06 [修回日期] 2022-10-29  
[本文编辑] 陈盛新