

## ◆ 技术研究 ◆

不同冲泡条件下的槐米茶茶汤对 ABTS 阳离子自由基的清除作用<sup>\*</sup>梁惠<sup>1,2</sup>, 史艳财<sup>1</sup>, 熊忠臣<sup>1</sup>, 蒋运生<sup>1</sup>, 邓丽丽<sup>1\* \* \*</sup>

(1. 广西壮族自治区中国科学院广西植物研究所, 广西桂林 541006; 2. 广西师范大学生命科学学院, 广西桂林 541006)

**摘要:**为探究槐米茶的最佳冲泡条件及槐米茶茶汤对 ABTS 阳离子自由基( $ABTS^{+ \cdot}$ )的清除作用,以市场上主要的两种槐米茶(广西槐米茶和山西槐米茶)为原料,结合单因素试验与响应面试验进行研究。结果表明:在 1:40 (g/mL)的茶水比例下 90℃ 的纯净水冲泡 1 次、冲泡 3 min 得到的广西槐米茶茶汤效果最佳;在 1:40 (g/mL)的茶水比例下 90℃ 的纯净水冲泡 1 次、冲泡 5 min 得到的山西槐米茶茶汤效果最佳。在最佳冲泡条件下进行 3 次平行试验验证,广西槐米茶茶汤与山西槐米茶茶汤的  $ABTS^{+ \cdot}$  清除率分别为(45.61 ± 1.62)%和(37.89 ± 1.02)%,与响应面预测值相近,说明两种槐米茶茶汤模型拟合度较好。在此条件下冲泡的槐米茶茶汤对  $ABTS^{+ \cdot}$  的清除作用最佳。本研究为槐米茶产业的发展提供了一定的理论参考。

**关键词:**槐米茶;抗氧化;冲泡条件;响应面分析;单因素

中图分类号:TS272 文献标识码:A 文章编号:1002-7378(2023)01-0108-11

DOI:10.13657/j.cnki.gxkxyxb.20230329.013

槐米为豆科(Fabaceae)植物槐(*Sophora japonica*)在槐花未开放时摘下后干燥得到的花蕾,也称“槐花米”。其药性微寒、味苦,富含芦丁和槲皮素等活性成分<sup>[1,2]</sup>,具有凉血止血的功效<sup>[3]</sup>,对便血、血痢、瘀血、头晕、肝热目赤等有一定的治疗功效<sup>[4]</sup>,是我国常用的传统中药材<sup>[5]</sup>。作为药食同源中药材,槐米还可用于茶饮、烹饪。作为茶饮,槐米茶具有一定的保健功效<sup>[6-8]</sup>,在热水冲泡的条件下槐米茶内的黄

酮类、多酚类等多种活性成分析出到茶水中<sup>[9]</sup>。冲泡条件(茶与水体积比、冲泡时间、冲泡次数、冲泡温度等因素)影响着槐米中活性成分的析出<sup>[10-12]</sup>。然而目前关于槐米的研究主要集中在化学成分<sup>[13-18]</sup>、药理成分<sup>[14,19,20]</sup>、提取工艺<sup>[21-23]</sup>等方面,关于如何优化槐米茶冲泡条件及茶汤对 ABTS 阳离子自由基( $ABTS^{+ \cdot}$ )的清除作用这两方面的研究尚未开展。因此,本研究以市场上主要的两种槐米茶(广西槐米

收稿日期:2022-10-10

修回日期:2022-12-07

\* 国家林业和草原局重点研发项目(GLM[2021]037号),广西科技基地和人才专项(桂科 AD21220011),云浮市 2021 年中医药(南药)产业人才项目(云科[2022]16)资助。

## 【第一作者简介】

梁惠(1997-),女,在读硕士研究生,主要从事特色经济植物研究。

## 【\* \* 通信作者】

邓丽丽(1992-),女,助理研究员,主要从事药用植物研究,E-mail:denglilimini@163.com。

## 【引用本文】

梁惠,史艳财,熊忠臣,等.不同冲泡条件下的槐米茶茶汤对 ABTS 阳离子自由基的清除作用[J].广西科学院学报,2023,39(1):108-118.

LIANG H,SHI Y C,XIONG Z C,et al.Scavenging Effect of *Sophora japonica* Tea Soup on ABTS Cationic Free Radical under Different Brewing Conditions [J].Journal of Guangxi Academy of Sciences,2023,39(1):108-118.

茶和山西槐米茶)为原料,结合单因素与响应面试验,探究槐米茶的最佳冲泡条件及槐米茶茶汤对 $ABTS^{+}$ ·的清除作用,以确定槐米茶的最佳冲泡条件,为科学利用槐米茶提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

目前,市场上的槐米茶主要可分为广西槐米茶和山西槐米茶两大类。本研究中广西槐米茶的制作过程如下:2020年8月在槐米种植基地(广西壮族自治区中国科学院广西植物研究所)采集未开放的槐花花蕾,除杂,蒸汽杀青10 min,晒干后置于砂锅中翻炒至焦黄。山西槐米茶购买于山西密家茶叶有限公司,产地为山西运城。

### 1.2 单因素试验

#### 1.2.1 冲泡时间对 $ABTS^{+}$ ·的清除作用

称取1 g槐米茶,加入90℃、40 mL的纯净水分别冲泡1 min、2 min、3 min、4 min、5 min,取第1次冲泡所得茶汤,按照ABTS自由基清除能力测试试剂盒(以下简称“ABTS试剂盒”)方法测定茶汤对 $ABTS^{+}$ ·的清除能力,每个处理进行3次重复,计算清除率。取最优冲泡时间进行下一个单因素试验。

#### 1.2.2 冲泡体积对 $ABTS^{+}$ ·的清除作用

称取1 g槐米茶,加入90℃ 40 mL、50 mL、60 mL、70 mL、80 mL的纯净水,按上一步所得的最优冲泡时间冲泡,按照ABTS试剂盒方法测定茶汤对 $ABTS^{+}$ ·的清除能力,每个处理进行3次重复,计算清除率。取最优冲泡体积进行下一个单因素试验。

#### 1.2.3 冲泡次数对 $ABTS^{+}$ ·的清除作用

称取1 g槐米茶,按上述试验所得的最优冲泡体积加入纯净水,用最优冲泡时间对槐米茶进行冲泡,取冲泡1次、2次、3次、4次所得的茶汤,按照ABTS试剂盒方法测定茶汤对 $ABTS^{+}$ ·的清除能力,每个处理进行3次重复,计算清除率。取最优次数进行下一个单因素试验。

#### 1.2.4 冲泡温度对 $ABTS^{+}$ ·的清除作用

称取1 g槐米茶,取上述试验所得的最优冲泡时间、体积和次数,分别用60℃、70℃、80℃、90℃的纯净水对槐米茶进行冲泡,按照ABTS试剂盒方法测定茶汤对 $ABTS^{+}$ ·的清除能力,每个处理进行3次重复,计算清除率。取最优冲泡温度进行下一个单因素试验。

#### 1.2.5 冲泡用水对 $ABTS^{+}$ ·的清除作用

称取1 g槐米茶,在上述试验所得的最优条件下,分别用自来水、怡宝纯净水、农夫山泉矿泉水、桂林本地山泉水、康师傅矿物质水冲泡,按照ABTS试剂盒方法测定茶汤对 $ABTS^{+}$ ·的清除能力,每个处理进行3次重复,计算清除率。

### 1.3 响应面试验

以冲泡时间、冲泡体积、冲泡次数、冲泡温度4个影响因素为自变量, $ABTS^{+}$ ·清除率为因变量,通过4因素3水平的响应面试验进一步优化槐米茶茶汤冲泡条件,表1为试验设计。

表1 响应面试验因素水平及编码

Table 1 Response surface test factor level and coding

水平 Level	因素 Factors			
	A: 冲泡时间 (min) A: brewing time (min)	B: 冲泡体积 (mL) B: brewing volume (mL)	C: 冲泡次数 (次) C: brewing times (times)	D: 冲泡温度 (℃) D: brewing temperature (℃)
1	1	40	1	70
0	2	50	2	80
-1	3	60	3	90

#### 1.4 槐米茶茶汤 $ABTS^{+}$ ·清除率测定

将槐米茶茶汤稀释9倍后,按照ABTS试剂盒说明书测定其对 $ABTS^{+}$ ·的清除能力,计算清除率。

#### 1.5 数据处理

每个检测指标测定3次,用均数±标准差表示数据结果。采用Origin 8.6及SPSS 11.5软件进行数据分析,采用Duncan法进行显著性分析( $P < 0.05$ )。

## 2 结果与分析

### 2.1 单因素试验结果与分析

#### 2.1.1 冲泡时间对槐米茶茶汤 $ABTS^{+}$ ·清除率的影响

由表2可知,广西槐米茶冲泡3 min得到的茶汤的 $ABTS^{+}$ ·清除率最高,显著高于冲泡2 min和4 min的茶汤( $P < 0.05$ )。在冲泡5 min时所得到的山西槐米茶茶汤对 $ABTS^{+}$ ·的清除能力最强( $P < 0.05$ ),高于冲泡4 min和6 min的茶汤。两种槐米茶茶汤的 $ABTS^{+}$ ·清除率在达到最佳冲泡时间前均随着冲泡时间的增加而升高,过了最高点后随着时间的增加而下降。因此,分别选择2 min、3 min、4

min 和 4 min、5 min、6 min 作为广西槐米茶和山西槐米茶后续响应面试验的冲泡时间条件。

表 2 冲泡时间对槐米茶茶汤 ABTS<sup>+</sup> · 清除率的影响

Table 2 Influence of brewing time on ABTS<sup>+</sup> · clearance rate of *S. japonica* tea soup

冲泡时间 (min) Brewing time (min)	ABTS <sup>+</sup> · 清除率(%) ABTS <sup>+</sup> · clearance rate (%)	
	广西槐米茶 Guangxi <i>S. japonica</i> tea	山西槐米茶 Shanxi <i>S. japonica</i> tea
	1	26.27 ± 0.29 <sup>c</sup>
2	27.89 ± 0.42 <sup>b</sup>	38.36 ± 3.54 <sup>a</sup>
3	34.79 ± 0.69 <sup>a</sup>	38.57 ± 4.99 <sup>a</sup>
4	27.47 ± 0.20 <sup>bc</sup>	41.33 ± 5.20 <sup>a</sup>
5	26.65 ± 0.26 <sup>bc</sup>	47.68 ± 2.70 <sup>a</sup>
6	24.54 ± 0.51 <sup>c</sup>	41.19 ± 7.15 <sup>a</sup>

Note: different lowercase letters in the same column indicate significantly difference ( $P < 0.05$ )

### 2.1.2 冲泡体积对槐米茶茶汤 ABTS<sup>+</sup> · 清除率的影响

由表 3 可知, 茶汤的 ABTS<sup>+</sup> · 清除率随着冲泡体积的增加而递减, 两种槐米茶茶汤的 ABTS<sup>+</sup> · 清除率均在冲泡体积为 40 mL 时最高, 在 80 mL 时最低。在最优冲泡体积条件下, 广西槐米茶茶汤的 ABTS<sup>+</sup> · 清除率比山西槐米茶茶汤高 11.25%。在 80 mL 条件下山西槐米茶茶汤的 ABTS<sup>+</sup> · 清除率比广西槐米茶高 5.20%。随着冲泡体积的增加, 广西槐米茶的清除率下降幅度较山西槐米茶大。因此, 选择 40 mL、50 mL、60 mL 作为两种槐米茶后续响应面试验的冲泡体积条件。

表 3 冲泡体积对槐米茶茶汤 ABTS<sup>+</sup> · 清除率的影响

Table 3 Influence of brewing volume on ABTS<sup>+</sup> · clearance rate of *S. japonica* tea soup

冲泡体积 (mL) Brewing volume (mL)	ABTS <sup>+</sup> · 清除率(%) ABTS <sup>+</sup> · clearance rate (%)	
	广西槐米茶 Guangxi <i>S. japonica</i> tea	山西槐米茶 Shanxi <i>S. japonica</i> tea
	40	45.04 ± 14.90 <sup>a</sup>
50	37.60 ± 8.70 <sup>a</sup>	31.58 ± 0.96 <sup>ab</sup>
60	28.30 ± 1.34 <sup>a</sup>	30.30 ± 0.73 <sup>ab</sup>
70	27.50 ± 1.50 <sup>b</sup>	29.68 ± 1.11 <sup>b</sup>
80	23.50 ± 4.80 <sup>b</sup>	28.70 ± 1.12 <sup>b</sup>

Note: different lowercase letters in the same column indicate significantly difference ( $P < 0.05$ )

### 2.1.3 冲泡次数对槐米茶茶汤 ABTS<sup>+</sup> · 清除率的影响

由表 4 可知, 两种槐米茶第 1 次冲泡的 ABTS<sup>+</sup> · 清除率均最高, 随着冲泡次数的增加, ABTS<sup>+</sup> · 清除率明显呈下降趋势。广西槐米茶茶汤的 ABTS<sup>+</sup> · 清除率下降幅度比山西槐米茶茶汤大, 广西槐米茶第 1 次冲泡的 ABTS<sup>+</sup> · 清除率比第 5 次冲泡高 19.57%, 而山西槐米茶第 1 次冲泡的清除率仅较第 5 次高 7.63%, 第 5 次冲泡时山西槐米茶比广西槐米茶高 20.15%。因此, 选择冲泡次数 1 次、2 次、3 次作为两种槐米茶后续响应面试验的冲泡次数条件。

表 4 冲泡次数对槐米茶茶汤 ABTS<sup>+</sup> · 清除率的影响

Table 4 Influence of brewing times on ABTS<sup>+</sup> · clearance rate of *S. japonica* tea soup

冲泡次数 (次) Brewing times (times)	ABTS <sup>+</sup> · 清除率(%) ABTS <sup>+</sup> · clearance rate (%)	
	广西槐米茶 Guangxi <i>S. japonica</i> tea	山西槐米茶 Shanxi <i>S. japonica</i> tea
	1	24.47 ± 1.34 <sup>a</sup>
2	9.19 ± 0.66 <sup>a</sup>	28.12 ± 0.85 <sup>b</sup>
3	7.90 ± 0.87 <sup>ab</sup>	26.77 ± 0.66 <sup>bc</sup>
4	5.80 ± 0.21 <sup>b</sup>	25.72 ± 0.89 <sup>bc</sup>
5	4.90 ± 0.64 <sup>c</sup>	25.05 ± 0.94 <sup>c</sup>

Note: different lowercase letters in the same column indicate significantly difference ( $P < 0.05$ )

### 2.1.4 冲泡温度对槐米茶茶汤 ABTS<sup>+</sup> · 清除率的影响

由表 5 可知, 广西槐米茶茶汤的 ABTS<sup>+</sup> · 清除率随冲泡温度的升高呈现先升后降的趋势, 冲泡温度为 80℃ 时茶汤对 ABTS<sup>+</sup> · 的清除能力最大。随着冲泡温度的升高, 山西槐米茶茶汤的 ABTS<sup>+</sup> · 清除能力持续上升。冲泡温度为 90℃ 时茶汤的 ABTS<sup>+</sup> · 清除能力显著高于其他温度 ( $P < 0.05$ )。试验结果表明, 广西槐米茶比山西槐米茶对温度的变化更加敏感。为探索山西槐米茶的最佳冲泡温度, 后续将冲泡温度分别升至 95℃ 与 100℃, 发现 ABTS<sup>+</sup> · 清除率仍继续上升, 但从 80℃ 开始, ABTS<sup>+</sup> · 清除率上升最明显。因此, 选择 70℃、80℃、90℃ 作为两种槐米茶后续响应面试验的冲泡温度条件。

### 2.1.5 冲泡用水对槐米茶茶汤 ABTS<sup>+</sup> · 清除率的影响

由表 6 可知, 用怡宝纯净水冲泡得到的广西槐米

表5 冲泡温度对槐米茶茶汤 ABTS<sup>+</sup>·清除率的影响Table 5 Influence of brewing temperature on ABTS<sup>+</sup>·clearance rate of *S. japonica* tea soup

冲泡温度 (°C) Brewing temperature (°C)	ABTS <sup>+</sup> ·清除率(%) ABTS <sup>+</sup> ·clearance rate (%)	
	广西槐米茶 Guangxi <i>S. japonica</i> tea	山西槐米茶 Shanxi <i>S. japonica</i> tea
	50	4.20 ± 0.57 <sup>c</sup>
60	8.20 ± 0.37 <sup>bc</sup>	30.08 ± 0.10 <sup>bc</sup>
70	11.95 ± 4.80 <sup>bc</sup>	30.78 ± 0.21 <sup>b</sup>
80	38.27 ± 7.60 <sup>a</sup>	33.79 ± 61.00 <sup>a</sup>
90	20.60 ± 1.80 <sup>b</sup>	34.68 ± 24.00 <sup>a</sup>

Note: different lowercase letters in the same column indicate significantly difference ( $P < 0.05$ )

茶茶汤的清除能力最高,其 ABTS<sup>+</sup>·清除率比自来水、康师傅矿物质水、农夫山泉矿泉水和桂林本地山泉水分别高 4.78%、4.38%、12.72% 及 22.60%。利用桂林本地山泉水冲泡所得的茶汤清除率最低,仅为 7.66%。对于山西槐米茶,也是用怡宝纯净水冲泡得到的茶汤 ABTS<sup>+</sup>·清除率最高,但与其他水质冲泡的茶汤差距不大,分别比自来水、矿物质水、矿泉水和

表6 不同冲泡用水对槐米茶茶汤 ABTS<sup>+</sup>·清除率的影响

水的种类 Types of water	ABTS <sup>+</sup> ·清除率(%) ABTS <sup>+</sup> ·clearance rate (%)	
	广西槐米茶 Guangxi <i>S. japonica</i> tea	山西槐米茶 Shanxi <i>S. japonica</i> tea
Running water	25.48 ± 3.87 <sup>a</sup>	32.10 ± 0.66 <sup>a</sup>
C'estbon purified water	30.26 ± 9.56 <sup>a</sup>	32.65 ± 0.50 <sup>a</sup>
Master Kang mineralized water	25.88 ± 3.24 <sup>a</sup>	32.56 ± 0.73 <sup>a</sup>
Nongfu spring mineral water	17.54 ± 1.31 <sup>ab</sup>	31.73 ± 1.76 <sup>a</sup>
Guilin local mountain spring water	7.66 ± 4.80 <sup>c</sup>	31.54 ± 0.74 <sup>a</sup>

Note: different lowercase letters in the same column indicate significantly difference ( $P < 0.05$ )

表7 广西槐米茶茶汤方差与显著性分析

Table 7 Variance and significance analysis of Guangxi *S. japonica* tea soup

方差来源 Source of variance	平方和 Sum of squares	自由度 <i>df</i>	均方 Mean square	F 值 F value	P 值 P value	显著性 Significance
Model	2 062.50	14	147.32	154.11	<0.000 1	Significant
A	0.27	1	0.27	0.28	0.603 5	
B	128.76	1	128.76	134.69	<0.000 1	* *
C	207.89	1	207.89	217.47	<0.000 1	* *
D	40.80	1	40.80	42.68	<0.000 1	* *
AB	0.13	1	0.13	0.13	0.719 8	
AC	7.39	1	7.39	7.73	0.014 8	*
AD	4.54	1	4.54	4.75	0.046 8	*

山泉水高 0.55%、0.09%、0.92% 及 1.11%。

## 2.2 响应面试验结果与分析

### 2.2.1 广西槐米茶茶汤响应面试验结果

对试验数据进行回归分析,得到广西槐米茶茶汤的二次多元回归方程为  $y = 35.71 - 0.28A - 3.283B - 4.16C + 1.71D - 0.18AB - 1.36AC + 0.97AD + 3.37BC - 0.79BD - 0.62CD - 15.16A^2 - 3.21B^2 + 1.54C^2 - 2.91D^2$ 。由表 7 可知,广西槐米茶茶汤模型的  $P$  值小于 0.000 1,失拟项 ( $P = 0.196 5 > 0.05$ ) 不显著,说明模型拟合度较好,选择合理。决定系数  $R^2$  为 0.992 1,校正后的决定系数  $R^2_{Adj} = 0.984 2$ ,与  $R^2$  接近。实验的精确度 (C. V.) 为 2.66%,表明该模型可用于预测冲泡条件对广西槐米茶茶汤 ABTS<sup>+</sup>·清除率的影响。3 个一次项 B、C、D 及 4 个二次项  $A^2$ 、 $B^2$ 、 $C^2$ 、 $D^2$  对 ABTS<sup>+</sup>·清除率有影响,交互项 AC、AD、BC 对 ABTS<sup>+</sup>·清除率的影响较大,其他因素的影响不显著。各因素对 ABTS<sup>+</sup>·清除率的影响顺序为冲泡次数 > 冲泡体积 > 冲泡温度 > 冲泡时间,4 个因素间相互影响的主次关系顺序为 BC > AC > AD > BD > CD > AB。

续表

Continued table

方差来源 Source of variance	平方和 Sum of squares	自由度 <i>df</i>	均方 Mean square	F 值 F value	P 值 P value	显著性 Significance
BC	45.45	1	45.45	47.55	<0.000 1	* *
BD	2.48	1	2.48	2.59	0.129 8	
CD	1.54	1	1.54	1.61	0.224 7	
A <sup>2</sup>	1 483.88	1	1 483.88	1 552.25	<0.000 1	* *
B <sup>2</sup>	67.56	1	67.56	70.67	<0.000 1	* *
C <sup>2</sup>	15.04	1	15.04	15.73	0.001 4	*
D <sup>2</sup>	53.64	1	53.64	56.11	<0.000 1	* *
Residual	13.38	14	0.96			
Lack of fit	11.53	10	1.15	2.49	0.196 5	Not significant
Pure error	1.85	4	0.46			
Cor total	2 075.88	28				

Note: \* indicates significant difference ( $P < 0.05$ ), \* \* indicates extremely significant difference ( $P < 0.01$ )

### 2.2.2 山西槐米茶茶汤响应面结果及分析

对试验数据进行回归分析,得到山西槐米茶茶汤的二次多元回归方程为  $y = 37.21 - 0.11A - 1.22B - 1.80C + 1.62D - 0.12AB - 0.35AC + 1.08AD + 0.30BC - 0.41BD - 0.14CD - 1.10A^2 - 0.61B^2 - 1.54C^2 - 1.80D^2$ 。由表 8 可知,此模型的  $P$  值小于 0.000 1,失拟项 ( $P = 0.051 > 0.05$ ) 不显著,非试验因素对试验结果影响较小。决定系数  $R^2$

为 0.990 0,校正后的决定系数  $R^2_{Adj}$  为 0.980 0,与  $R^2$  接近。实验的精确度 (C. V.) 为 0.86%,表明该模型贴合实际试验,可用于预测冲泡条件对山西槐米茶茶汤 ABTS<sup>+</sup> · 清除率的影响。各因素对 ABTS<sup>+</sup> · 清除率的影响顺序为冲泡次数 > 冲泡温度 > 冲泡体积 > 冲泡时间,4 个因素间相互影响的主次关系顺序为 AD > BD > AC > BC > CD > AB。

表 8 山西槐米茶茶汤方差与显著性分析

Table 8 Variance and significance analysis of Shanxi *S. japonica* tea soup

方差来源 Source of variance	平方和 Sum of squares	自由度 <i>df</i>	均方 Mean square	F 值 F value	P 值 P value	显著性 Significance
Model	125.19	14	9.1	98.99	<0.000 1	* *
A	0.21	1	0.14	1.5	0.240 4	
B	17.88	1	17.88	194.45	<0.000 1	* *
C	36.68	1	38.81	422.06	<0.000 1	* *
D	30.51	1	31.48	342.35	<0.000 1	* *
AB	0.059	1	0.059	0.64	0.438 1	
AC	0.72	1	0.48	5.27	0.037 7	*
AD	4.66	1	4.66	50.65	<0.000 1	* *
BC	0.36	1	0.36	3.89	0.068 7	
BD	0.69	1	0.69	7.46	0.016 3	*
CD	0.19	1	0.081	0.88	0.364 7	
A <sup>2</sup>	7.32	1	7.84	85.32	<0.000 1	* *
B <sup>2</sup>	2.44	1	2.44	26.58	0.000 1	*
C <sup>2</sup>	15.29	1	15.29	166.28	<0.000 1	* *
D <sup>2</sup>	21.84	1	20.95	227.87	<0.000 1	* *

续表

Continued table

方差来源 Source of variance	平方和 Sum of squares	自由度 <i>df</i>	均方 Mean square	F 值 F value	P 值 P value	显著性 Significance
Residual	1.73	14	0.092			
Lack of fit	1.65	10	0.12	5.9	0.051	Not significant
Pure error	0.082	4	0.02			
Cor total	126.92	28				

Note: \* indicates significant difference ( $P < 0.05$ ), \*\* indicates extremely significant difference ( $P < 0.01$ )

### 2.2.3 两种槐米茶响应面分析与优化

根据二次回归方程绘出响应曲面图,在试验范围内,交互作用存在于两两因素之间,同时其他因素固定在零水平时,影响因素间的交互作用可在等高线上反映出其强弱关系,不同因素的交互作用越弱时,等高线越圆;不同因素间的交互作用越强,等高线为椭圆形。由图1至图6可知,冲泡体积、冲泡次数、冲泡温度3个因素间的交互作用显著( $P < 0.05$ ),某个因素变动时其他因素也会变动。通过模型预测,广西槐米茶在2.99 min、40.11 mL、1.07次、88.69℃冲泡条件下所得茶汤的 $ABTS^+$ ·清除率为44.55%;山

西槐米茶在5.02 min、40.16 mL、1.03次、87.75℃冲泡条件下所得茶汤的 $ABTS^+$ ·清除率为38.74%。考虑到实际操作,对上述结果进行调整,广西槐米茶的最优冲泡条件为3 min、40 mL、1次、90℃;山西槐米茶的最优冲泡条件为5 min、40 mL、1次、90℃。在此条件下进行3次平行试验验证,广西槐米茶茶汤的 $ABTS^+$ ·清除率均值为 $(45.61 \pm 1.62)\%$ ,山西槐米茶茶汤的 $ABTS^+$ ·清除率均值为 $(37.90 \pm 1.02)\%$ ,与预测值接近,说明模型对优化槐米茶冲泡条件具有指导意义。

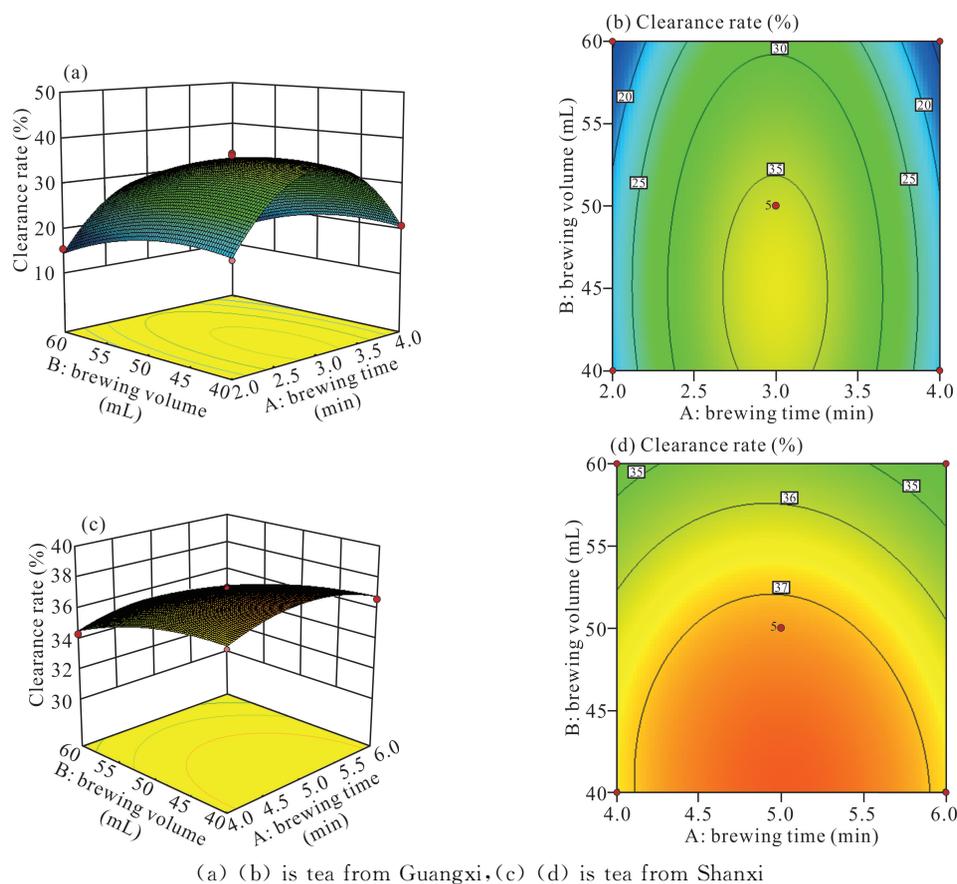
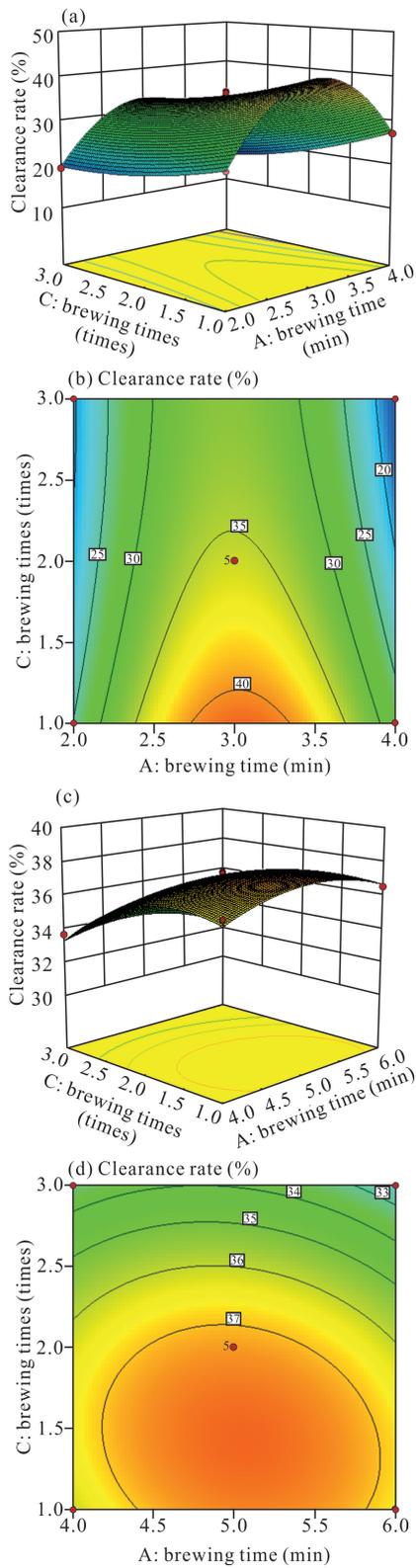


图1 槐米茶冲泡体积与冲泡时间交互作用对 $ABTS^+$ ·清除率影响的响应曲面及等高线图

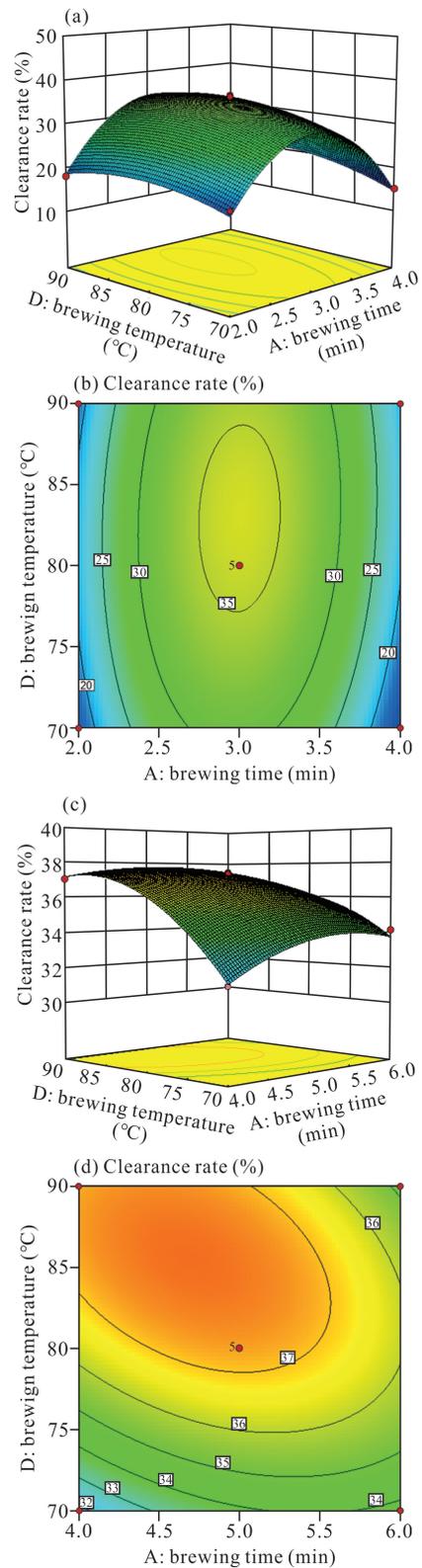
Fig. 1 Response surface and contour line diagram of the influence of the interaction between brewing time and volume of *S. japonica* tea on  $ABTS^+$ ·clearance rate



(a) (b) is tea from Guangxi, (c) (d) is tea from Shanxi

图 2 槐米茶冲泡时间与冲泡次数交互作用对 ABTS<sup>+</sup> 清除率影响的响应曲面及等高线图

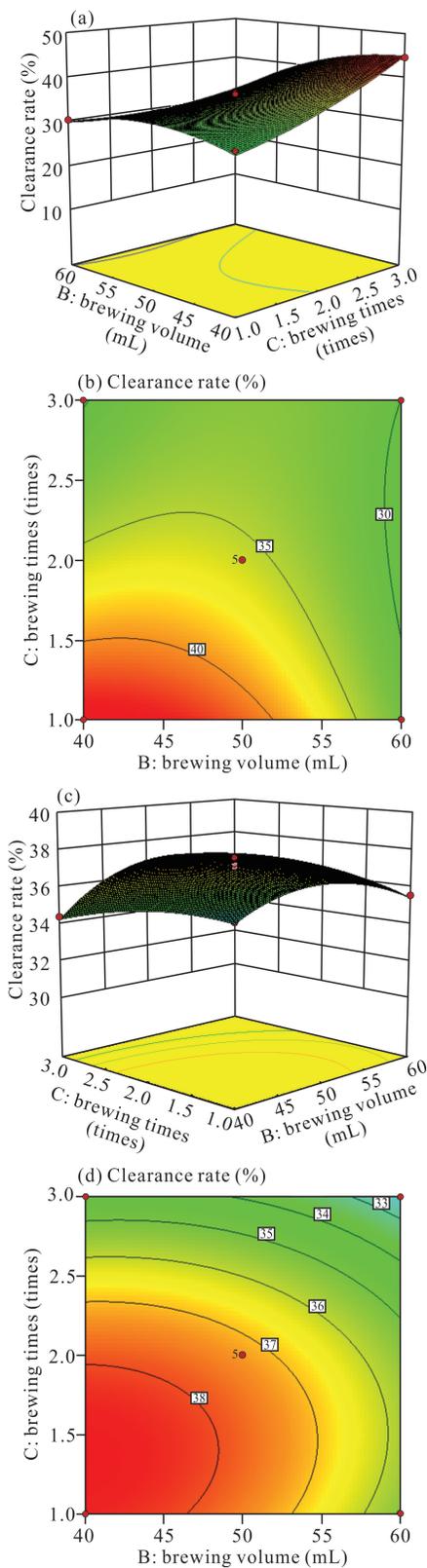
Fig. 2 Response surface and contour line diagram of the influence of the interaction between brewing time and times of *S. japonica* tea on ABTS<sup>+</sup> clearance rate



(a) (b) is tea from Guangxi, (c) (d) is tea from Shanxi

图 3 槐米茶冲泡时间与冲泡温度交互作用对 ABTS<sup>+</sup> 清除率影响的响应曲面及等高线图

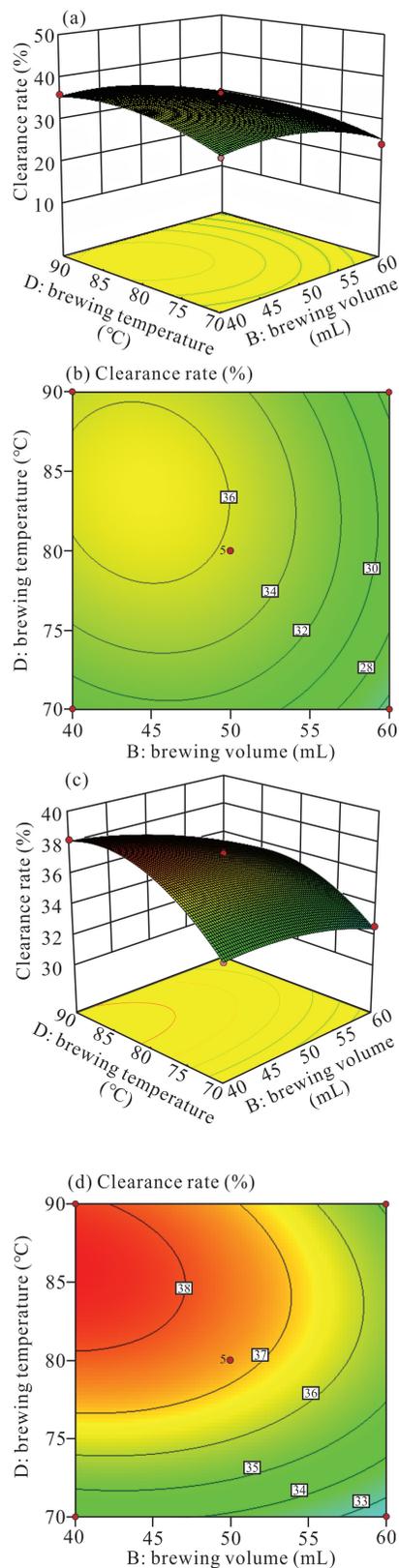
Fig. 3 Response surface and contour line diagram of the influence of the interaction between brewing time and temperature of *S. japonica* tea on ABTS<sup>+</sup> clearance rate



(a)(b) is tea from Guangxi, (c)(d) is tea from Shanxi

图4 槐米茶冲泡体积与冲泡次数交互作用对  $ABTS^{+}$  · 清除率影响的响应曲面及等高线图

Fig. 4 Response surface and contour line diagram of the influence of the interaction between brewing volume and times of *S. japonica* tea on  $ABTS^{+}$  · clearance rate



(a)(b) is tea from Guangxi, (c)(d) is tea from Shanxi

图5 槐米茶冲泡体积与冲泡温度交互作用对  $ABTS^{+}$  · 清除率影响的响应曲面及等高线图

Fig. 5 Response surface and contour line diagram of the influence of the interaction between brewing volume and temperature of *S. japonica* tea on  $ABTS^{+}$  · clearance rate

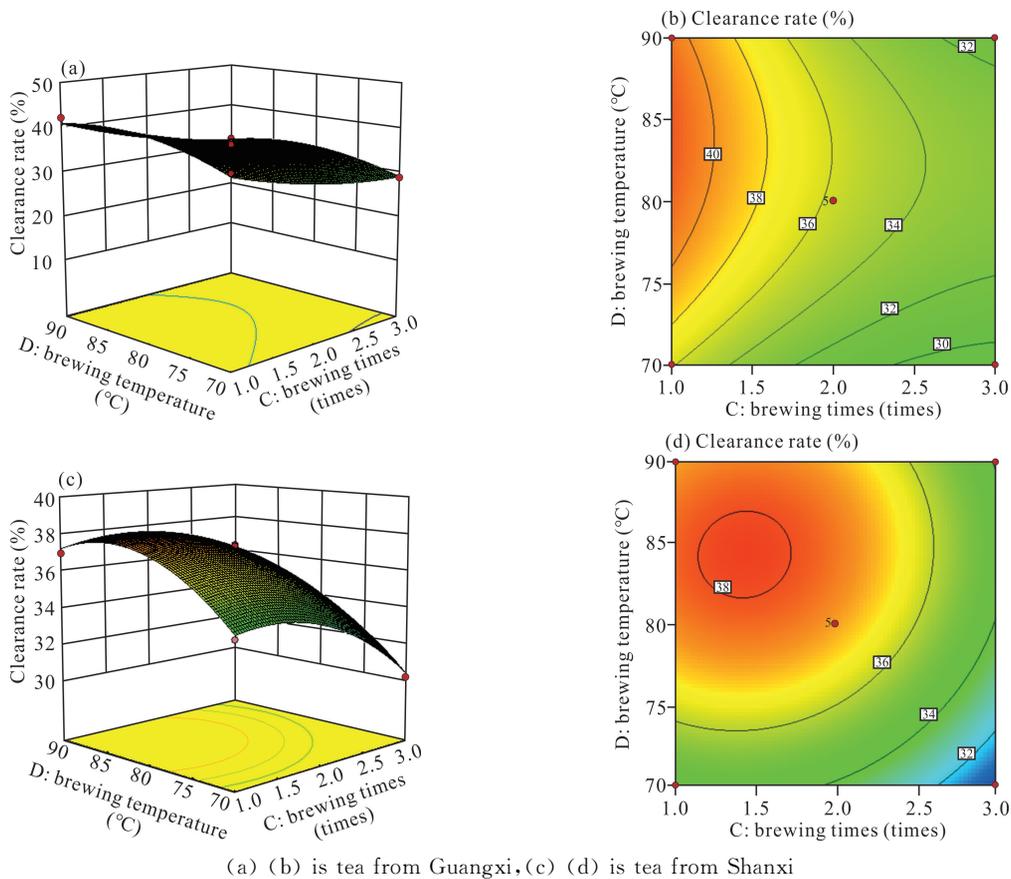


图6 槐米茶冲泡次数与冲泡温度交互作用对  $ABTS^+$  清除率影响的响应曲面及等高线图

Fig. 6 Response surface and contour line diagram of the influence of the interaction between brewing times and temperature of *S. japonica* tea on  $ABTS^+$  clearance rate

### 3 讨论

本研究中茶汤的  $ABTS^+$  清除率在达到最高值前,随着冲泡时间的增加而升高,因为冲泡时间的增加加大了槐米茶中芦丁等活性物质的析出,更多活性物质与试剂发生反应,清除率也随之增大。过了最佳冲泡时间后,槐米茶内溶出的物质容易发生氧化反应,导致茶汤中的芦丁、槲皮素等抗氧化活性成分被破坏,茶汤对  $ABTS^+$  的清除能力下降。冲泡体积影响槐米茶的清除率主要与茶汤中多酚类、黄酮类等化学成分浓度密切相关。在一定范围内,冲泡体积越小,槐米茶茶汤内的抗氧化活性成分浓度越高,与  $ABTS^+$  反应越大,清除能力也随着增大;反之,冲泡体积越大,槐米茶茶汤中活性成分被稀释,浓度降低,清除能力也随之降低。

广西槐米茶第1次冲泡与第5次冲泡的  $ABTS^+$  清除率下降幅度远大于山西槐米茶,说明广西槐米茶的抗氧化活性成分在第1次冲泡时析出

较多,随着冲泡次数增加,槐米茶中的抗氧化活性成分已基本析出,与  $ABTS^+$  的结合物质逐渐减少,导致清除率下降,茶香味淡薄,口感不佳。山西槐米茶茶汤的  $ABTS^+$  清除率也随着冲泡次数的增加呈下降趋势,但下降幅度较小,第5次冲泡与第1次冲泡相比仅下降了 7.63%,说明槐米茶中的活性成分未完全析出,还可进行多次冲泡。不同产地的槐米茶的冲泡次数对  $ABTS^+$  清除率的影响不同,可能是茶叶耐泡特性不同导致的<sup>[24]</sup>。

冲泡温度会影响茶汤的总体品质<sup>[25]</sup>,随着冲泡温度的升高,茶叶中的色素及其他化学成分的析出量增加,使茶汤颜色与风味更胜一筹。然而冲泡温度过高会对溶出的活性物质造成破坏<sup>[26]</sup>,导致  $ABTS^+$  清除率下降。水质中化学元素的多少也会影响茶汤对  $ABTS^+$  的清除能力。研究表明,水中离子越少,茶汤对  $ABTS^+$  的清除能力越强,这在一定程度上与茶汤中的黄酮类、多酚类被水中的离子诱导后进行了氧化降解反应有关<sup>[27-29]</sup>。

## 4 结论

槐米茶是我国历史悠久的一种保健茶,其独特的风味深受消费者欢迎,但冲泡方式在很大程度上制约了槐米茶茶汤风味及保健功效的发挥。本研究通过单因素试验确定广西和山西两种槐米茶合适的冲泡条件,并利用响应面分析法对冲泡条件组合进一步优化,得出以下结论:在1:40(g/mL)的茶水比例下90℃的纯净水冲泡3 min、冲泡1次得到的广西槐米茶茶汤对ABTS<sup>+</sup>·的清除效果最佳;在1:40(g/mL)的茶水比例下90℃的纯净水冲泡5 min、冲泡1次得到的山西槐米茶茶汤对ABTS<sup>+</sup>·的清除效果最佳。平行试验中理论值与实际值接近,两个模型均能够较好地预测槐米茶茶汤的实际ABTS<sup>+</sup>·清除率。对两种产地的槐米茶最佳冲泡条件的优化,为广大消费者提供了效果较佳的冲泡条件,有利于槐米茶的进一步研究与开发。

### 参考文献

- [1] 王文萃,陈媛,海娅风,等.一步法制备槐米总黄酮纳米混悬液及其冻干粉的比较研究[J].中国药学杂志,2021,56(1):42-45.
- [2] 谭均,李隆云,王计瑞,等.不同产地槐米的质量综合评价研究[J].天然产物研究与开发,2018,30(12):2166-2174,2202.
- [3] 刘琳,程伟.槐花化学成分及现代药理研究新进展[J].中医药信息,2019,36(4):125-128.
- [4] 国家药典委员会.中华人民共和国药典:2020年版 第一部[M].北京:中国医药科技出版社,2020,354-355.
- [5] 刘兴,岑忠丽,白安琴,等.云南昆明的槐米中芦丁的提取及纯化探究[J].山东化工,2021,50(16):44-45,49.
- [6] 王丽英,马玉青,于志彬,等.槐米的营养价值及其速溶饮料的研究[J].中国农学通报,2008,24(6):70-73.
- [7] 钱文文,辛宝,史传道.槐花的营养保健功能及食品开发前景[J].农产品加工,2016,416(9):59-61.
- [8] 孙蕾,吕瑞乔,隋道庆,等.槐米及其澄清汁饮料的研制[J].林业科技通讯,1999(4):36-37.
- [9] 辛松林,黄继伟,徐培,等.冲泡条件对秋葵花茶茶汤体外抗氧化活性的影响[J].食品科技,2020,45(4):66-74.
- [10] 马静钰,刘强,孙云,等.不同冲泡条件对茶叶内含物浸出率影响的研究进展[J].中国茶叶,2019,41(5):21-24.
- [11] 李俊,余海游,周雪丽,等.贵州卷曲形绿茶冲泡方法优化[J].食品安全质量检测学报,2019,10(18):6266-6272.
- [12] 米智,刘荔贞,武晓红,等.冲泡条件对日照绿茶茶多酚得率的影响[J].食品研究与开发,2021,42(3):63-67.
- [13] 韦源林,史艳财,邹蓉,等.不同来源金槐米体的红外光谱及芦丁含量的比较[J].广西植物,2019,39(11):1541-1549.
- [14] 王笑,王雨,张冰,等.槐不同药用部位本草学、化学成分和药理作用研究进展[J].中草药,2018,49(18):4461-4467.
- [15] 王菲,王晨,朱凤仪,等.槐米黄酮的纯化和体外抗氧化活性研究[J].应用化工,2021,50(8):2182-2186.
- [16] 刘丽丽,王涛,李晓霞,等.槐米化学成分研究Ⅱ[J].辽宁中医药大学学报,2014,16(7):51-53.
- [17] 贾佼佼,苗明三.槐花的化学、药理及临床应用[J].中医学报,2014,29(5):716-717,745.
- [18] 陈仲巍,洪璇,曾臻,等.槐米中天然产物槲皮素抗人鼻咽癌CNE1细胞活性研究[J].基因组学与应用生物学,2019,38(7):3305-3311.
- [19] 李秋红,栾仲秋,王继坤.中药槐米的化学成分、炮制研究及药理作用研究进展[J].中医药学报,2017,45(3):112-116.
- [20] 李晓霞,瞿璐,刘丽丽,等.国槐化学成分与药理作用的研究进展[J].天津中医药大学学报,2016,35(3):211-216.
- [21] 罗进,罗艳萍,张风,等.槐米中芦丁提取工艺优化研究[J].现代食品,2020(19):93-96,105.
- [22] 蔡前超,杜鸿章,曹智威,等.槐米中芦丁提取工艺研究[J].生物化工,2021,7(1):93-95.
- [23] 张依,周泽纯,全锦秋,等.槐米中芦丁的提取工艺优化及检识[J].中国医药科学,2020,10(3):38-41.
- [24] 刀哥,段兆顺.影响普洱茶耐泡性的八大因素[J].普洱,2018(10):109-111.
- [25] 卢莉,李源.不同冲泡温度对小种红茶化学成分浸出的影响分析[J].武夷学院学报,2016,35(9):8-11.
- [26] 王彬,王蓉,刘青如,等.适宜口感下的绿茶品饮冲泡技术研究[J].食品安全质量检测学报,2022,13(12):3850-3858.
- [27] 刘乾刚,郑少燕.不同水样水质、热稳定性及其对白茶茶汤理化性质的影响[J].茶叶通讯,2020,47(3):478-484.
- [28] 周巧仪,凌彩金,林威鹏,等.不同水质对英红九号红茶茶汤主要理化成分及品质的影响[J].湖北农业科学,2020,59(16):102-107.
- [29] 杨艾华,宋姗姗,王微微.湄潭白茶多糖抗氧化活性及稳定性研究[J].食品科技,2021,46(10):194-199.

## Scavenging Effect of *Sophora japonica* Tea Soup on ABTS Cationic Free Radical under Different Brewing Conditions

LIANG Hui<sup>1,2</sup>, SHI Yancai<sup>1</sup>, XIONG Zhongchen<sup>1</sup>, JIANG Yunsheng<sup>1</sup>, DENG Lili<sup>1\*\*</sup>

(1. Guangxi Institute of Botany, Guangxi Zhuang Autonomous Region and Chinese Academy of Sciences, Guilin, Guangxi, 541006, China; 2. College of Life Sciences, Guangxi Normal University, Guilin, Guangxi, 541006, China)

**Abstract:** In order to investigate the optimum brewing conditions of *Sophora japonica* tea and the scavenging effect of *S. japonica* tea soup on ABTS cationic free radicals ( $ABTS^+ \cdot$ ), two main kinds of *S. japonica* tea (Guangxi *S. japonica* tea and Shanxi *S. japonica* tea) in the market are used as raw materials, this study was conducted by combining single factor and response surface test. The results showed that the effect of Guangxi *S. japonica* tea soup was the best when the ratio of tea to water was 1 : 40 (g/mL), and it was brewed with pure water at 90°C for 1 times and 3 min. The effect of Shanxi *S. japonica* tea soup was the best when the ratio of tea to water was 1 : 40 (g/mL), and it was brewed with pure water at 90°C for 1 times and 5 min. Three parallel experiments were carried out under the optimal brewing conditions. The  $ABTS^+ \cdot$  scavenging rates of Guangxi *S. japonica* tea soup and Shanxi *S. japonica* tea soup were  $(45.61 \pm 1.62)\%$  and  $(37.89 \pm 1.02)\%$ , respectively, which were similar to the predicted values of the response surface, indicating that the two kinds of *S. japonica* tea soup models had a good fitting degree. Under these conditions, the *S. japonica* tea soup has the best scavenging effect of  $ABTS^+ \cdot$ . The study provides a theoretical reference for the development of *S. japonica* tea industry.

**Key words:** *Sophora japonica* tea; antioxidant; brewing conditions; response surface analysis; single factor

责任编辑: 梁 晓



微信公众号投稿更便捷

联系电话: 0771-2503923

邮箱: gxxkxyxb@gxas.cn

投稿系统网址: <http://gxxk.ijournal.cn/gxxkxyxb/ch>