

# 适宜口感下的红茶品饮冲泡技术

## Study on brewing technology of black tea with suitable taste

王蓉<sup>1,2</sup> 王彬<sup>1,2</sup> 李敏<sup>3</sup> 覃丽<sup>3</sup> 肖文军<sup>1,2</sup>

WANG Rong<sup>1,2</sup> WANG Bin<sup>1,2</sup> LI Min<sup>3</sup> TAN Li<sup>3</sup> XIAO Wen-jun<sup>1,2</sup>

(1. 湖南农业大学茶学教育部重点实验室, 湖南长沙 410128; 2. 湖南农业大学园艺学院, 湖南长沙 410128; 3. 湖南省茶叶学会, 湖南长沙 410128)

(1. Key Laboratory of Tea Science, Ministry of Education, Hunan Agricultural University, Changsha, Hunan 410128, China; 2. College of Horticulture, Hunan Agricultural University, Changsha, Hunan 410128, China; 3. Hunan Tea Association, Changsha, Hunan 410128, China)

**摘要:**目的:探究适宜口感下的红茶冲泡上限及其技术参数。方法:以一芽二叶红茶为原料,将感官审评方法制备的茶汤梯度稀释并由 50 名志愿者品饮,在确定适宜口感浓度的基础上,以适宜口感下水浸出物、茶黄素、茶红素质量浓度为考察指标,优化筛选红茶每次品饮冲泡的技术参数以及适宜口感下的冲泡次数。结果:红茶茶汤中水浸出物、茶黄素、茶红素质量浓度分别为 1.40, 0.04, 0.60 mg/mL 时,具有适宜的品饮口感;第 1 次冲泡采用茶水比 ( $m_{\text{茶}} : V_{\text{水}}$ ) 1 : 100 (g/mL)、82 °C 纯水冲泡 4.5 min, 第 2 次冲泡采用茶水比 ( $m_{\text{茶}} : V_{\text{水}}$ ) 1 : 50 (g/mL)、86.0 °C 纯水冲泡 3.5 min, 两次所得的茶汤均具有适宜的品饮口感并达到适宜口感的水浸出物、茶黄素、茶红素质量浓度;但第 3 次冲泡采用茶水比 ( $m_{\text{茶}} : V_{\text{水}}$ ) 1 : 50 (g/mL)、97.3 °C 纯水冲泡 6.4 min 后,所得茶汤口感过淡,同时水浸出物、茶黄素也未能达到适宜口感下的质量浓度要求。结论:适宜口感下的红茶品饮冲泡以冲泡 2 次为宜。

**关键词:**红茶;品饮;冲泡技术;适宜口感;响应面法

**Abstract: Objective:** This study aimed to explore the upper limit and technical parameters of black tea brewing with suitable taste and establish the relative brewing method system of daily drinking. **Methods:** The black tea soup was prepared by sensory evaluation method and diluted in a gradient with one bud and two leaves and then was tasted and scored by 50 volunteers to determine the appropriate taste consistency. On the basis of

determining the suitable taste concentration, the quality concentrations of water extract, theaflavin and thearubin under the suitable taste were used as the indexes to optimize and screen the technical parameters of black tea brewing each time and the brewing times under the appropriate taste. **Results:** When the mass concentrations of aqueous extract, theaflavin and thearubin in black tea soup were 1.40, 0.04 and 0.60 mg/mL respectively, and it had a suitable taste. The first brewing was made with a tea-water ratio ( $m_{\text{tea}} : V_{\text{water}}$ ) of 1 : 100 (g/mL) and pure water at 82 °C for 4.5 min, and the second brewing was made with a tea-water ratio ( $m_{\text{tea}} : V_{\text{water}}$ ) of 1 : 50 (g/mL) and pure water at 86.0 °C for 3.5 min. The tea broth obtained in both times had a suitable taste and reached the mass concentration of water extract, theaflavin and theaflavin of suitable taste. However, after the third brewing with tea-water ratio ( $m_{\text{tea}} : V_{\text{water}}$ ) of 1 : 50 (g/mL) and 97.3 °C pure water for 6.4 min, the resulting tea broth was too light in taste, and the water extracts and theaflavins also failed to reach the quality concentration requirement under suitable taste. **Conclusion:** It is appropriate to brew black tea for two times with appropriate taste kept.

**Keywords:** black tea; drinking; brewing technology; suitable taste; response surface methodology

随着茶艺表演、茶馆文化等茶叶品饮冲泡活动的兴起,茶叶耐泡性成为了重要卖点<sup>[1]</sup>。耐泡性是指茶叶经多次冲泡后仍有上佳滋味的性质,是评价茶叶品饮品质的重要指标之一<sup>[2]</sup>。李燕等<sup>[3]</sup>研究发现,不同泡次下的水浸出物总量与滋味总体评分呈正相关。红茶是近年国内茶叶市场的消费热点,红茶中的茶黄素、茶红素等关键滋味成分的浸出率影响茶汤浓度,进而影响其品饮品质<sup>[4-6]</sup>。红茶滋味成分的浸出率主要取决于料液比、冲泡次数、冲泡时间、冲泡温度等<sup>[7]</sup>。目前已有根据 GB/T 23776—2018,探讨大红袍<sup>[8]</sup>、福鼎大白<sup>[9]</sup>、白茶<sup>[10-11]</sup>、滇

**基金项目:**湖南省科技厅重点研发计划项目(编号:2021NK2016);湖南省科技重大项目(编号:2021NK1020)

**作者简介:**王蓉,女,湖南农业大学在读硕士研究生。

**通信作者:**肖文军(1969—),男,湖南农业大学教授,博士。

E-mail: xiaowenjun88@sina.com

**收稿日期:**2022-03-05 **改回日期:**2022-12-15

红<sup>[12]</sup>等的冲泡技术对茶汤品质影响的研究,但茶叶感官审评是通过将茶叶内含物质充分溶出,从而全面、科学地反映茶叶的品质状况,故其茶叶感官审评的标准适用于评定茶叶品质的好坏,而不适用于茶叶日常品饮冲泡技术的评判。研究拟在通过感官审评方法制备的茶汤梯度稀释并由 50 名志愿者品饮确定适宜口感浓度的基础上,采用单因素和响应面法<sup>[13-14]</sup>,分析茶水比、冲泡温度、冲泡时间、冲泡次数等品饮冲泡因素的变化而引起的茶叶水浸出物、茶黄素、茶红素质量浓度的动态变化,探明适宜口感下的红茶特征性内含物质的进出规律,优化筛选红茶日常品饮的适泡次数及其冲泡技术参数,为科学品饮红茶提供依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材料与试剂

红茶:茶祖·三湘红一级红茶,石门县茶祖印象太平茶厂;

乙酸乙酯、正丁醇、95%乙醇、碳酸氢钠、二水合草酸:分析纯,国药集团化学试剂有限公司;

试验用水为一次性蒸馏水。

### 1.2 仪器与设备

紫外可见分光光度计:UV-9100 D 型,北京莱伯泰科仪器有限公司。

### 1.3 方法

#### 1.3.1 试验方法

(1) 品饮试验:根据 GB/T 23776—2018《茶叶感官审评方法》获得茶汤原液。将原液分别稀释 1.00, 1.25, 1.50, 1.75, 2.00 倍(即审评  $V_{\text{茶汤}}:V_{\text{纯水}}$  分别为 50:50, 50:62.5, 50:75, 50:87.5, 50:100)。经感官正常、无明显味觉感知缺陷的 50 名志愿者对不同浓度梯度的茶汤按醇厚、醇(尚厚)、尚醇厚、醇和进行品饮评分,最终选出得分最高、滋味口感最佳的茶汤浓度,此茶汤浓度即为适宜口感下的标准茶汤浓度。将标准茶汤分别进行水浸出物、茶黄素、茶红素质量浓度检测,作为茶汤品质最优的理化物质含量依据。

(2) 优化试验:模拟生活品饮泡茶,分 3 次冲泡,每次

分别进行不同茶水比、冲泡温度和冲泡时间 3 个参数对茶汤水浸出物质量浓度的单因素试验,以最接近标准液茶汤的水浸出物质量浓度为指标,初步选出各次较优的茶汤冲泡技术参数,选取冲泡时间、冲泡温度、茶水比 3 个因素下的最优值水平范围,以水浸出物、茶黄素、茶红素质量浓度为响应值,根据响应面 Box-Behnken 设计原理<sup>[15]</sup>,应用 Design-Expert 11 软件设计三因素三水平响应面试验,并通过建立回归方程进一步对冲泡参数进行优化;同时,第 2、3 次冲泡分别在前一次冲泡的最优冲泡参数下进行,直至茶汤中水浸出物质量浓度无法达到标准水浸出物质量浓度。

#### 1.3.2 检测方法

(1) 茶叶干物质含量:参照 GB/T 8303—2013。

(2) 水浸出物质量浓度:参照 GB/T 8305—2013。

(3) 茶黄素、茶红素质量浓度:采用 Roberts 法<sup>[16]</sup>。

1.3.3 数据处理 采用 Design-Expert 11 软件构建二阶回归方程并进行方差分析,应用 SPSS 18.0 软件对数据进行统计分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 适宜口感下的红茶茶汤浓度的确定与分析

由表 1 可知,当茶汤原液稀释 1.25 倍(即 50 mL 茶汤原液+62.5 mL 纯水)时,茶汤滋味最佳,为适宜口感下的标准品饮茶汤。经检测,适宜口感下的标准品饮茶汤水浸出物质量浓度(标准水浸出物质量浓度)为 1.40 mg/mL,茶黄素质量浓度为 0.04 mg/mL,茶红素质量浓度为 0.60 mg/mL。

### 2.2 第 1 次冲泡试验

2.2.1 单因素试验 试验表明,当冲泡温度为 100 ℃、冲泡时间为 5 min 时,茶汤水浸出物质量浓度随茶水比的减小而递减。当茶水比( $m_{\text{茶}}:V_{\text{水}}$ )为 1:125 (g/mL)时,水浸出物质量浓度为 1.30 mg/mL;当茶水比( $m_{\text{茶}}:V_{\text{水}}$ )为 1:75 (g/mL)时,水浸出物质量浓度为 1.68 mg/mL;故选择  $m_{\text{茶}}:V_{\text{水}}$  为 1:75, 1:100, 1:125 (g/mL) 进行后续响应面优化试验。

当茶水比( $m_{\text{茶}}:V_{\text{水}}$ )为 1:100 (g/mL)、冲泡时间为

表 1 茶汤水浸出物、茶黄素、茶红素质量浓度及品饮结果<sup>†</sup>

Table 1 Quality concentration of aqueous extract, theaflavin and thearubigin and tasting results in tea soup

稀释倍数	感官评分	水浸出物质量浓度/ (mg·mL <sup>-1</sup> )	茶黄素质量浓度/ (mg·mL <sup>-1</sup> )	茶红素质量浓度/ (mg·mL <sup>-1</sup> )
茶汤原液	90	2.96±0.00 <sup>a</sup>	0.11±0.01 <sup>a</sup>	0.97±0.04 <sup>a</sup>
1.00	91	1.44±0.02 <sup>b</sup>	0.05±0.00 <sup>b</sup>	0.75±0.10 <sup>b</sup>
1.25	95	1.40±0.00 <sup>c</sup>	0.04±0.00 <sup>cd</sup>	0.60±0.05 <sup>c</sup>
1.50	92	1.36±0.00 <sup>d</sup>	0.03±0.00 <sup>d</sup>	0.38±0.05 <sup>d</sup>
1.75	89	1.32±0.02 <sup>e</sup>	0.04±0.00 <sup>cd</sup>	0.33±0.07 <sup>d</sup>
2.00	86	1.04±0.00 <sup>f</sup>	0.03±0.01 <sup>d</sup>	0.37±0.06 <sup>d</sup>

<sup>†</sup> 小写字母不同表示差异显著( $P<0.05$ )。

5 min时,随着冲泡温度的增加,水浸出物质量浓度增加,与马静钰等<sup>[17]</sup>的结果一致,即冲泡温度越高,茶叶中内含物质的浸出速度越快,浸出量越多。当冲泡温度为80℃时,茶汤水浸出物质量浓度为1.32 mg/mL;当冲泡温度为100℃时,水浸出物质量浓度为1.46 mg/mL;故选择冲泡温度为80,90,100℃进行响应面优化试验。

当冲泡茶水比( $m_{茶} : V_{水}$ )为1:100(g/mL)、冲泡温度为90℃时,随着冲泡时间的延长,红茶茶汤中水浸出物含量越高。当冲泡时间为3 min时,水浸出物质量浓度为1.24 mg/mL;当冲泡时间为4 min时,水浸出物质量浓度为1.42 mg/mL;故选择冲泡时间为3.0,3.5,4.0 min进行响应面优化试验。

2.2.2 响应面优化试验 选取冲泡时间、冲泡温度、茶水比为试验因素,以水浸出物、茶黄素、茶红素质量浓度为响应值,根据 Box-Behnken 设计原理进行三因素三水平响应面优化第1次冲泡试验,各因素水平见表2,试验设计及结果见表3。

表2 第1次冲泡试验因素水平表

Table 2 Table of factor levels for the first brewing test

水平	A 冲泡时间/min	B 冲泡温度/℃	C 茶水比( $m_{茶} : V_{水}$ )
1	3.5	80	1:75
2	4.0	90	1:100
3	4.5	100	1:125

表3 第1次冲泡 Box-Behnken 试验设计及结果

Table 3 Box-Behnken experimental design scheme and results under first brewing

试验号	A	B	C	$Y_1$ 水浸出物质量浓度/ ( $mg \cdot mL^{-1}$ )	$Y_2$ 茶黄素质量浓度/ ( $mg \cdot mL^{-1}$ )	$Y_3$ 茶红素质量浓度/ ( $mg \cdot mL^{-1}$ )
1	1	1	1	1.46±0.00	0.04±0.01	0.48±0.03
2	1	2	2	1.28±0.02	0.02±0.00	0.44±0.12
3	1	3	3	1.24±0.00	0.05±0.00	0.40±0.16
4	1	1	2	1.02±0.02	0.02±0.01	0.39±0.17
5	2	2	2	1.30±0.00	0.03±0.01	0.51±0.06
6	2	2	2	1.20±0.00	0.01±0.01	0.36±0.03
7	2	1	2	1.32±0.02	0.03±0.00	0.47±0.01
8	2	1	3	1.00±0.00	0.02±0.01	0.37±0.12
9	2	3	1	2.10±0.00	0.01±0.01	0.44±0.24
10	2	2	3	1.16±0.00	0.02±0.01	0.40±0.03
11	2	2	2	1.28±0.02	0.04±0.00	0.35±0.06
12	2	2	2	1.30±0.00	0.04±0.00	0.46±0.05
13	2	2	2	1.34±0.00	0.04±0.00	0.42±0.01
14	3	2	1	1.24±0.00	0.02±0.03	0.74±0.06
15	3	2	3	1.26±0.02	0.03±0.00	0.46±0.09
16	3	1	3	1.24±0.00	0.05±0.00	0.57±0.07
17	3	3	2	1.68±0.02	0.05±0.01	0.54±0.03

对表3的试验数据进行分析,得回归拟合方程:

$$Y_1 = 1.31 + 0.145 \ 3A + 0.165 \ 0B - 0.358 \ 2C - 0.060 \ 2AB - 0.026 \ 7AC - 0.043 \ 2BC + 0.040 \ 3A^2 + 0.068 \ 3B^2 + 0.135 \ 6C^2, \quad (1)$$

$$Y_2 = 0.026 \ 5 - 0.004 \ 0A + 0.018 \ 7B + 0.002 \ 4C - 0.034 \ 0AB - 0.016 \ 7AC + 0.046 \ 6BC + 0.010 \ 1A^2 + 0.031 \ 2B^2 + 0.006 \ 7C^2, \quad (2)$$

$$Y_3 = 0.423 \ 6 + 0.045 \ 0A + 0.021 \ 8B - 0.052 \ 5C - 0.101 \ 2AB + 0.037 \ 6AC - 0.060 \ 9BC + 0.119 \ 0A^2 + 0.008 \ 8B^2 - 0.035 \ 4C^2. \quad (3)$$

由表4可知,各因素对水浸出物质量浓度影响依次为C>B>A;模型 $P=0.000 \ 1 < 0.01$ ,极显著,具有统计学意义;失拟项 $P=0.125 \ 1 > 0.05$ ,不显著,说明未知因素对试验的干扰较小。各因素对茶黄素质量浓度的影响依次为B>A>C;模型 $P < 0.01$ ,极显著;失拟项 $P > 0.05$ ,拟合程度高,具有较好的统计学意义。各因素对茶红素质量浓度的影响依次为C>A>B;模型 $P < 0.05$ ,具有统计学意义;失拟项不显著,即模型受未知因素干扰较小,可用于分析以茶红素质量浓度为响应值的红茶冲泡技术参数的优化。

以适宜口感下的标准品饮茶汤水浸出物、茶黄素、茶红素质量浓度为依据,获得红茶第1次冲泡的最佳条件为冲泡时间4.451 min、冲泡温度82.289℃、茶水比( $m_{茶} : V_{水}$ )1:99.512(g/mL),考虑实际操作的方便性,

表 4 第 1 次冲泡响应面优化模型方差分析<sup>†</sup>

Table 4 Response surface optimization model ANOVA under the first brewing

变异来源	平方和			自由度	均方			F 值			P 值		
	Y <sub>1</sub>	Y <sub>2</sub>	Y <sub>3</sub>		Y <sub>1</sub>	Y <sub>2</sub>	Y <sub>3</sub>	Y <sub>1</sub>	Y <sub>2</sub>	Y <sub>3</sub>	Y <sub>1</sub>	Y <sub>2</sub>	Y <sub>3</sub>
模型	1.430 0	0.028 4	0.121 8	9	0.158 6	0.003 2	0.013 5	28.130 0	24.670 0	3.860 0	0.000 1**	0.000 2**	0.044 4*
A	0.100 8	0.000 1	0.009 6	1	0.100 8	0.000 1	0.009 6	17.870 0	0.607 3	2.750 0	0.003 9**	0.461 3	0.141 2
B	0.148 4	0.001 9	0.002 6	1	0.148 4	0.001 9	0.002 6	26.320 0	14.950 0	0.739 9	0.001 4**	0.006 2**	0.418 2
C	0.672 7	0.000 0	0.014 5	1	0.672 7	0.000 0	0.014 5	119.310 0	0.232 2	4.120 0	<0.000 1**	0.644 6	0.081 8
失拟项	0.028 7	0.000 5	0.018 8	3	0.009 6	0.000 2	0.006 3	3.580 0	1.930 0	4.330 0	0.125 1	0.265 8	0.095 2

† \* 为显著(P<0.05); \*\* 为极显著(P<0.01)。

将最佳冲泡条件修正为茶水比(m<sub>茶</sub>:V<sub>水</sub>)1:100(g/mL)、冲泡水温82℃、冲泡时间4.5min,进行3次验证实验,测得茶汤中水浸出物、茶黄素、茶红素的平均质量浓度分别为1.39,0.04,0.60mg/mL,与预测值相一致,说明回归方程预测值的拟合度较高。

2.3 第 2 次冲泡试验

2.3.1 单因素试验 试验表明,当茶水比(m<sub>茶</sub>:V<sub>水</sub>)为1:75(g/mL)时,水浸出物质量浓度为1.38mg/mL,最接近标准品饮茶汤水浸出物质量浓度;当茶水比(m<sub>茶</sub>:V<sub>水</sub>)为1:50(g/mL)时,水浸出物质量浓度为2.10mg/mL,与标准品饮茶汤水浸出物浓度相差较大,因此选择茶水比(m<sub>茶</sub>:V<sub>水</sub>)为1:50,1:62.5,1:75(g/mL)进行响应面优化试验。

当冲泡温度为80~90℃时,茶汤中水浸出物质量浓度随冲泡温度的升高而增大,当冲泡温度>90℃时,水浸出物质量浓度保持相对恒定,可能是由于茶汤与红茶叶细胞内的水溶性物质达到平衡,所以选择冲泡温度为85,90,95℃进行响应面优化试验。

茶汤水浸出物质量浓度随冲泡时间的延长逐渐增大,在4.5min时达最大值之后保持稳定,说明第2次冲泡条件为茶水比(m<sub>茶</sub>:V<sub>水</sub>)1:75(g/mL)、冲泡温度90℃、冲泡时间4.5min时,红茶中水浸出物的浸出量已达到较优值,综合考虑,选择冲泡时间为3.5,4.0,4.5min进行响应面优化试验。

2.3.2 响应面优化试验 选取冲泡时间、冲泡温度、茶水比为试验因素,以水浸出物、茶黄素、茶红素质量浓度为响应值,根据Box-Behnken设计原理进行三因素三水平响应面试验优化第2次冲泡试验,各因素水平见表5,试

表 5 第 2 次冲泡试验因素水平表

Table 5 Table of factor levels for the second brewing test

水平	A 冲泡时间/min	B 冲泡温度/℃	C 茶水比(m <sub>茶</sub> :V <sub>水</sub> )
1	3.5	85	1:50.0
2	4.0	90	1:62.5
3	4.5	95	1:75.0

验设计及结果见表6。

对表6的试验数据进行分析,得回归拟合方程:

$$Y_4 = 1.44 - 0.005 0A + 0.055 0B - 0.165 0C - 0.015 0AB + 0.005 0AC - 0.025 0BC - 0.064 5A^2 - 0.084 5B^2 - 0.044 5C^2, \tag{4}$$

$$Y_5 = 0.044 0 + 0.000 4A + 0.002 5B - 0.008 5C - 0.000 6AB - 0.000 8AC - 0.005 7BC - 0.000 6A^2 - 0.005 2B^2 + 0.003 6C^2, \tag{5}$$

$$Y_6 = 0.752 6 + 0.062 7A + 0.046 0B - 0.194 2C + 0.020 2AB - 0.111 6AC - 0.092 1BC + 0.006 5A^2 - 0.074 3B^2 - 0.012 1C^2. \tag{6}$$

由表7可知,各因素对红茶第2次冲泡的茶汤水浸出物质量浓度影响依次为C>B>A,与第1次冲泡的影响趋势一致,说明红茶冲泡过程中茶水比对茶汤水浸出物质量浓度影响最大;冲泡温度影响红茶水溶性物质的溶出速率及其溶解度进而影响水浸出物质量浓度<sup>[18]</sup>,影响程度稍次于茶水比;而冲泡时间主要通过影响红茶中水溶性物质的溶出时间而影响水浸出物浓度;模型P<0.01,极显著;失拟项P>0.05,不显著,说明拟合程度较高。各因素对茶黄素质量浓度影响程度依次为C>B>A,其中茶水比的影响极显著(P<0.01);模型P=0.025 2<0.05,显著;失拟项P>0.05,不显著,说明该模型可用。各因素对茶红素质量浓度影响依次为C>A>B,其中茶水比的影响极显著(P<0.01);模型P=0.004 1<0.01,极显著;失拟项P>0.05,不显著,说明模型具有统计学意义。

以适宜口感下的标准品饮茶汤水浸出物、茶黄素、茶红素质量浓度为参考,使用回归模型进行优化,获得红茶第2次冲泡的最佳工艺参数为冲泡时间3.5min、冲泡温度86℃、茶水比(m<sub>茶</sub>:V<sub>水</sub>)1:50(g/mL)。对最佳冲泡技术参数进行3次验证实验,测得茶汤中水浸出物、茶黄素、茶红素质量浓度分别为1.41,0.04,0.62mg/mL,与回归方程预测值拟合度较高。

2.4 第 3 次冲泡试验

2.4.1 单因素试验 试验表明,随着茶水比的减小,茶汤水浸出物质量浓度不断降低,其中茶水比(m<sub>茶</sub>:V<sub>水</sub>)为

表 6 第 2 次冲泡 Box-Behnken 试验设计方案及结果

Table 6 Box-Behnken experimental design scheme and results under second brewing

试验号	A	B	C	Y <sub>4</sub> 水浸出物质量浓度/	Y <sub>5</sub> 茶黄素质量浓度/	Y <sub>6</sub> 茶红素质量浓度/
				(mg · mL <sup>-1</sup> )	(mg · mL <sup>-1</sup> )	(mg · mL <sup>-1</sup> )
1	1	2	1	1.54±0.00	0.06±0.00	0.76±0.02
2	1	2	3	1.12±0.00	0.05±0.01	0.52±0.15
3	1	1	2	1.26±0.02	0.04±0.00	0.62±0.02
4	1	3	2	1.36±0.00	0.04±0.00	0.71±0.03
5	2	2	2	1.56±0.02	0.05±0.00	0.80±0.03
6	2	3	3	1.24±0.00	0.04±0.00	0.45±0.19
7	2	1	3	1.14±0.00	0.04±0.00	0.58±0.07
8	2	2	2	1.42±0.00	0.04±0.00	0.71±0.03
9	2	2	2	1.44±0.02	0.04±0.01	0.76±0.03
10	2	2	2	1.40±0.00	0.04±0.00	0.71±0.05
11	2	1	1	1.34±0.04	0.04±0.01	0.70±0.03
12	2	3	1	1.54±0.02	0.06±0.00	0.94±0.11
13	2	2	2	1.40±0.00	0.05±0.00	0.78±0.07
14	3	2	1	1.54±0.00	0.06±0.00	1.20±0.02
15	3	1	2	1.26±0.04	0.05±0.00	0.62±0.18
16	3	2	3	1.14±0.02	0.04±0.00	0.51±0.06
17	3	3	2	1.30±0.00	0.06±0.01	0.79±0.04

表 7 第 2 次冲泡响应面优化模型方差分析<sup>†</sup>

Table 7 Response surface optimization model ANOVA under the second brewing

变异来源	平方和			自由度	均方			F 值			P 值		
	Y <sub>1</sub>	Y <sub>2</sub>	Y <sub>3</sub>		Y <sub>1</sub>	Y <sub>2</sub>	Y <sub>3</sub>	Y <sub>1</sub>	Y <sub>2</sub>	Y <sub>3</sub>	Y <sub>1</sub>	Y <sub>2</sub>	Y <sub>3</sub>
模型	0.307 6	0.000 9	0.459 6	9	0.034 2	0.000 1	0.051 1	6.890 0	4.810 0	9.080 0	0.009 3**	0.025 2*	0.004 1**
A	0.000 2	1.445E-06	0.031 5	1	0.000 2	1.445E-06	0.031 5	0.040 3	0.067 8	5.590 0	0.846 6	0.802 0	0.050 0*
B	0.024 2	0.000 0	0.016 9	1	0.024 2	0.000 0	0.016 9	4.880 0	2.300 0	3.010 0	0.062 9	0.173 1	0.126 4
C	0.217 8	0.000 6	0.301 6	1	0.217 8	0.000 6	0.301 6	43.910 0	26.970 0	53.610 0	0.000 3**	0.001 3**	0.000 2**
失拟项	0.016 8	0.000 1	0.032 5	3	0.005 6	0.000 0	0.010 8	1.250 0	1.480 0	6.300 0	0.402 8	0.346 9	0.053 8

<sup>†</sup> \* 为显著(P<0.05); \*\* 为极显著(P<0.01)。

1 : 50 (g/mL)时的水浸出物质量浓度为 0.88 mg/mL,仅占标准品饮茶汤水浸出物质量浓度的 62.86%;同时,即使在最优冲泡温度(90 °C)、冲泡时间(6 min)下,茶汤中水浸出物质量浓度最高为 1.02 mg/mL(占标准品饮茶汤水浸出物质量浓度的 72.86%),已无法达到标准品饮茶汤水浸出物质量浓度。因此,分别选择水浸出物质量浓度较优的茶水比[m<sub>茶</sub> : V<sub>水</sub>分别为 1 : 50, 1 : 62.5, 1 : 75 (g/mL)],冲泡温度(90, 95, 100 °C)、冲泡时间(5.5, 6.0, 6.5 min)进行响应面优化试验。

2.4.2 响应面优化试验 选取冲泡时间、冲泡温度、茶水比为试验因素,以水浸出物、茶黄素、茶红素质量浓度为响应值,根据 Box-Behnken 设计原理进行三因素三水平响应面试验优化第3次冲泡试验,各因素水平见表8,试

表 8 第 3 次冲泡试验因数水平表

Table 8 Table of factor levels for the third brewing test

水平	A 冲泡时间/min	B 冲泡温度/°C	C 茶水比(m <sub>茶</sub> : V <sub>水</sub> )
1	5.5	90	1 : 50.0
2	6.0	95	1 : 62.5
3	6.5	100	1 : 75.0

验设计及结果见表 9。

对表 9 的试验数据进行分析,得多元回归拟合方程:

$$Y_7 = 0.864 0 + 0.000 0A + 0.035 0B - 0.160 0C + 0.035 0AB - 0.035 0AC + 0.085 0BC + 0.045 5A^2 - 0.014 5B^2 + 0.055 5C^2, \tag{7}$$

$$Y_8 = 0.033 2 - 0.001 2A + 0.002 6B - 0.006 3C +$$

$$0.001\ 3AB + 0.005\ 0AC - 0.025\ 0BC - 0.064\ 5A^2 - 0.084\ 5B^2 - 0.044\ 5C^2, \tag{8}$$

$$Y_9 = 1.44 - 0.005\ 0A + 0.055\ 0B - 0.165\ 0C - 0.015\ 0AB - 0.001\ 7AC + 0.003\ 6BC + 0.004\ 1A^2 + 0.000\ 8B^2 + 0.001\ 4C^2. \tag{9}$$

由表 10 可知,各因素对红茶第 3 次冲泡的水浸出物质量浓度影响依次为 C>B>A;模型  $P<0.01$ ,极显著;失拟项  $P>0.05$ ,不显著,说明此模型可用。各因素对红茶第 3 次冲泡的茶黄素质量浓度影响依次为 C>B>A;模型  $P=0.047\ 2<0.05$ ,显著;失拟项  $P>0.05$ ,不显著,说明该模型可用。各因素对红茶第 3 次冲泡的茶红素质量浓度影响依次为 C>A>B,其中茶水比的影响显著

( $P<0.05$ );模型  $P=0.049\ 0<0.05$ ,显著;失拟项  $P>0.05$ ,不显著,说明模型具有统计学意义。

由表 9 可知,水浸出物、茶黄素质量浓度已无法达到标准品茶汤中相应的质量浓度,所以第 3 次冲泡以茶红素质量浓度为响应值进行冲泡条件优化,获得红茶第 3 次冲泡的最佳工艺条件为冲泡时间 6.4 min,冲泡温度 97.3 °C,茶水比 ( $m_{茶}:V_{水}$ )1:50 (g/mL)。经 3 次验证实验,测得茶红素质量浓度为 0.62 mg/mL,与回归模型预测值拟合良好,说明第 3 次冲泡时茶叶中的可溶性物质已基本溶出,茶汤水浸出物质量浓度已达不到标准品茶汤的要求,进而导致茶汤滋味较为淡薄、适口性较差。因此,为确保品饮红茶中能获得最舒服的滋味和口感,不建议进行第 3 次冲泡。

表 9 第 3 次冲泡 Box-Behnken 试验设计及结果

Table 9 Box-Behnken experimental design scheme and results under third brewing

试验号	A	B	C	$Y_7$ 水浸出物质量浓度 / (mg · mL <sup>-1</sup> )	$Y_8$ 茶黄素质量浓度 / (mg · mL <sup>-1</sup> )	$Y_9$ 茶红素质量浓度 / (mg · mL <sup>-1</sup> )
1	1	3	2	0.92±0.00	0.04±0.00	0.88±0.11
2	1	1	2	0.88±0.00	0.04±0.00	0.69±0.03
3	1	2	3	0.86±0.00	0.04±0.00	0.65±0.03
4	1	2	1	1.06±0.02	0.04±0.00	0.71±0.08
5	2	2	2	0.80±0.00	0.03±0.00	0.55±0.04
6	2	2	2	0.86±0.04	0.03±0.00	0.56±0.07
7	2	2	2	0.92±0.02	0.04±0.00	0.64±0.04
8	2	1	1	1.16±0.00	0.04±0.00	0.77±0.03
9	2	3	3	0.82±0.00	0.03±0.00	0.63±0.03
10	2	1	3	0.62±0.06	0.02±0.00	0.50±0.01
11	2	2	2	0.88±0.00	0.03±0.00	0.67±0.03
12	2	2	2	0.86±0.00	0.03±0.00	0.66±0.02
13	2	3	1	1.02±0.00	0.04±0.00	0.65±0.04
14	3	1	2	0.80±0.02	0.03±0.00	0.63±0.00
15	3	2	3	0.80±0.00	0.03±0.00	0.53±0.01
16	3	3	2	0.98±0.00	0.04±0.00	0.68±0.02
17	3	2	1	1.14±0.00	0.04±0.00	0.71±0.04

表 10 第 3 次冲泡响应面优化模型方差分析<sup>†</sup>

Table 10 Response surface optimization model ANOVA under the third brewing

变异来源	平方和			自由度	均方			F 值			P 值		
	$Y_1$	$Y_2$	$Y_3$		$Y_1$	$Y_2$	$Y_3$	$Y_1$	$Y_2$	$Y_3$	$Y_1$	$Y_2$	$Y_3$
模型	0.276 5	0.000 5	0.109 8	9	0.030 7	0.000 1	0.012 2	13.510 0	3.760 0	3.710 0	0.001 2**	0.047 2*	0.049 0*
A	0.000 0	0.000 0	0.017 4	1	0.000 0	0.000 0	0.017 4	0.000 0	0.729 3	5.290 0	1.000 0	0.421 4	0.055 0
B	0.009 8	0.000 1	0.008 7	1	0.009 8	0.000 1	0.008 7	4.310 0	3.330 0	2.640 0	0.076 6	0.111 0	0.148 5
C	0.204 8	0.000 3	0.034 6	1	0.204 8	0.000 3	0.034 6	90.050 0	19.860 0	10.520 0	<0.000 1**	0.002 9**	0.014 2*
失拟项	0.008 4	0.000 0	0.010 4	3	0.002 8	7.004E-06	0.003 5	1.490 0	0.312 8	1.110 0	0.345 2	0.816 5	0.444 7

† \* 为显著( $P<0.05$ ); \*\* 为极显著( $P<0.01$ )。

### 3 结论

试验表明,茶汤水浸出物质量浓度分别随冲泡茶水比、冲泡温度和冲泡时间的增加而增加,茶黄素、茶红素在茶汤中的质量浓度均随冲泡温度的升高、冲泡时间的延长而增加。其中,冲泡条件对茶汤水浸浓度的影响程度从大到小依次为:茶水比、冲泡温度、冲泡时间。在红茶日常泡饮时,选择合适的茶水比是获得茶汤上佳滋味感受的首要因素,其次是冲泡温度和冲泡时间。由此适宜口感下的红茶品饮冲泡以冲泡2次为宜。试验主要探究冲泡条件对茶汤滋味的影响,而冲泡条件对茶汤香气、汤色等其他感官品质方面仍需进一步研究。

#### 参考文献

- [1] 梅宇,王智超. 2019年度中国红茶产销情况简报[J]. 茶博览, 2020(12): 90-94.  
MEI Y, WANG Z C. Briefing on the production and marketing of black tea in China in 2019[J]. Tea Expo, 2020(12): 90-94.
- [2] 张嗣凤. 大红袍和冰岛古树茶的耐泡性分析[D]. 南京: 南京农业大学, 2019: 42-43.  
ZHANG S F. Analysis of foam resistance of Dahongpao and Icelandic ancient tree tea [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2019: 42-43.
- [3] 李燕,王文富,王金涛,等. 不同冲泡次数普洱生茶浸出物含量及滋味品质变化分析[J]. 食品科学, 2022, 43(12): 210-218.  
LI Y, WANG W F, WANG J T, et al. Analysis of the quality of Pu'er tea and the number of times of making Pu'er tea[J]. Food Science, 2022, 43(12): 210-218.
- [4] 吴金春,王兰兰,张季,等. 遵义红茶感官品质与内含成分的相关性[J]. 现代食品, 2020(7): 198-201.  
WU J C, WANG L L, ZHANG J, et al. Correlation between sensory quality and content of Zun-yi black tea[J]. Modern Food, 2020(7): 198-201.
- [5] 刘亚芹,王辉,周汉琛,等. 冲泡模式对祁门红茶主要生化成分及抗氧化能力的影响[J]. 食品安全质量检测学报, 2021, 12(7): 2 552-2 560.  
LIU Y Q, WANG H, ZHOU H C, et al. Effects of brewing mode on main biochemical components and antioxidant capacity of Qimen black tea[J]. Journal of Food Safety and Quality Inspection, 2021, 12(7): 2 552-2 560.
- [6] 常泽睿,刘盼盼,郑鹏程,等. 冲泡条件对橘红茶化学成分及抗氧化活性的影响[J]. 食品研究与开发, 2021, 42(4): 8-15.  
CHANG Z R, LIU P P, ZHENG P C, et al. Effects of brewing conditions on chemical components and antioxidant activity of orange black tea[J]. Food Research and Development, 2021, 42(4): 8-15.
- [7] 睦红卫,周圣弘. 冲泡方式对武夷岩茶多酚溶出量的影响研究[J]. 食品研究与开发, 2017, 38(5): 26-29.  
SUI H W, ZHOU S H. Effect of brewing methods on the dissolution of tea polyphenols from wuyiyan rock tea[J]. Food Research and Development, 2017, 38(5): 26-29.
- [8] ZHANG S, YANG Y, CHENG X, et al. Prediction of suitable brewing cuppages of Dahongpao tea based on chemical composition, liquor colour and sensory quality in different brewing [J]. Scientific Reports, 2020, 10(1): 1-11.
- [9] ZHANG H, LI Y, LU Y, et al. Influence of brewing conditions on taste components in Fuding white tea infusions[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2017, 97(9): 2 826-2 833.
- [10] 李长乐,何丽梅,徐宝玲,等. 白茶冷泡饮用方法初探[J]. 中国茶叶, 2021, 43(5): 58-62.  
LI C L, HE L M, XU B L, et al. Preliminary study on cold brewing drinking method of white tea[J]. Chinese Tea, 2021, 43(5): 58-62.
- [11] PÉREZ-BURILLO S, GIMÉNEZ R, RUFÍAN-HENARES J A, et al. Effect of brewing time and temperature on antioxidant capacity and phenols of white tea: Relationship with sensory properties[J]. Food Chemistry, 2018, 248: 111-118.
- [12] 赵甜甜,刘顺航,贾黎晖,等. 不同冲泡方式对滇红工夫茶滋味品质的影响[J]. 中国茶叶, 2020, 42(3): 34-37.  
ZHAO T T, LIU S H, JIA L H, et al. Effects of different brewing methods on the taste and quality of Dianhong Gongfu tea[J]. China Tea, 2020, 42(3): 34-37.
- [13] 王永菲,王成国. 响应面法的理论与应用[J]. 中央民族大学学报(自然科学版), 2005(3): 236-240.  
WANG Y F, WANG C G. Theory and application of response surface method[J]. Journal of Minzu University of China(Natural Sciences Edition), 2005(3): 236-240.
- [14] 李莉,张赛,何强,等. 响应面法在试验设计与优化中的应用[J]. 实验室研究与探索, 2015, 34(8): 41-45.  
LI L, ZHANG S, HE Q, et al. Application of response surface method in experimental design and optimization[J]. Laboratory Research and Exploration, 2015, 34(8): 41-45.
- [15] 韦云伊,程忠,雷霆德,等. 响应面法优化火龙果真空冷冻干燥工艺[J]. 食品与机械, 2021, 37(7): 200-206.  
WEI Y Y, CHENG Z, LEI T D, et al. Optimization of vacuum freeze-drying process of Pitaya fruit by response surface method [J]. Food & Machinery, 2021, 37(7): 200-206.
- [16] 谭和平,叶善蓉,陈丽,等. 茶叶中色素的测试方法概述[J]. 中国测试, 2009, 35(2): 78-82.  
TAN H P, YE S R, CHEN L, et al. Overview of test methods for pigments in tea[J]. China Test, 2009, 35(2): 78-82.
- [17] 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.  
MA J Y, LIU Q, SUN Y, et al. Research progress on the effects of different brewing conditions on the leaching rate of tea contents[J]. China Tea, 2019, 41(5): 21-24.
- [18] 金恩惠. 冲泡条件对铁观音和普洱茶的浸出规律和感官品质影响[D]. 杭州: 浙江大学, 2012: 28-33.  
JIN E H. Effects of brewing conditions on the leaching law and sensory quality of Tieguanyin and Pu'er tea [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2012: 28-33.