

# 模糊数学感官评价结合响应面法优化速溶老鹰茶配方

王藤<sup>1,2</sup>, 赵明<sup>1,2</sup>, 刘琨毅<sup>3</sup>, 李珏洁<sup>1</sup>, 李若愚<sup>1,2</sup>, 梁正维<sup>2</sup>, 伯年国<sup>1,2</sup>, 雷鑫<sup>1,2</sup>,  
沙艮<sup>1,2</sup>, 陈思琴<sup>1,2</sup>, 马燕<sup>1\*</sup>

(1. 云南农业大学茶学院&食品科学技术学院, 云南昆明 650201) (2. 云南农业大学西南中药材种质创新与利用国家地方联合工程研究中心&云南省药用植物生物学重点实验室, 云南特色植物提取实验室, 云南昆明, 650106) (3. 宜宾职业技术学院五粮液技术与食品工程学院, 四川宜宾 644003)

**摘要:** 通过浸提、浓缩、喷雾干燥等工艺制作速溶老鹰茶, 采用模糊数学感官评价法单因素、响应面试验结合, 优化速溶老鹰茶配方, 并测定其功能性成分。速溶老鹰茶优化配方为: 速溶老鹰茶粉、甘草提取物、薄荷提取物的添加量分别为 0.3、0.03、0.05 g。速溶茶滋味清凉甘甜, 多酚、游离氨基酸、可溶性糖、总黄酮质量分数分别为 4.11%、3.95%、5.86% 和 6.83%; 高效液相色谱法检测到丝氨酸 (5.88 mg/g)、天冬氨酸 (1.70 mg/g) 和谷氨酸 (1.64 mg/g)、 $\gamma$ -氨基丁酸 (0.21 mg/g)、等 16 种游离氨基酸, 检测到儿茶素 (9.26 mg/g)、杨梅素 (1.53 mg/g)、芦丁 (1.22 mg/g)、表儿茶素 (1.09 mg/g)、槲皮素 (0.48 mg/g) 和山奈酚 (0.44 mg/g) 等 11 种多酚类物质。该研究开发了一种风味良好且富含黄酮、氨基酸等成分的速溶老鹰茶, 具有一定的市场发展潜力。

**关键词:** 速溶; 老鹰茶; 模糊数学感官评价; 响应面分析; 配方优化; 功能性成分

文章编号: 1673-9078(2024)08-211-219

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2024.8.0891

## Optimization of an Instant Hawk Tea Formulation Using Fuzzy Mathematics-Based Sensory Evaluation and Response Surface Methodology

WANG Teng<sup>1,2</sup>, ZHAO Ming<sup>1,2</sup>, LIU Kunyi<sup>3</sup>, LI Juejie<sup>1</sup>, LI Ruoyu<sup>1,2</sup>, LIANG Zhengwei<sup>2</sup>, BO Nianguo<sup>1,2</sup>,  
LEI Xin<sup>1,2</sup>, SHA Gen<sup>1,2</sup>, CHEN Siqin<sup>1,2</sup>, MA Yan<sup>1\*</sup>

(1.College of Tea Science & College of Food Science and Technology, Yunnan Agricultural University, Kunming, 650201, China)(2.National & Local Joint Engineering Research Center on Germplasm Innovation & Utilization of Chinese Medicinal Materials in Southwestern China & The Key Laboratory of Medicinal Plant Biology of Yunnan Province, Yunnan Characteristic Plant Extraction Laboratory, Yunnan Agricultural University, Kunming 650106, China)  
(3.College of Wuliangye Technology and Food Engineering, Yibin Vocational and Technical College, Yibin 644003, China)

引文格式:

王藤,赵明,刘琨毅,等.模糊数学感官评价结合响应面法优化速溶老鹰茶配方[J].现代食品科技,2024,40(8):211-219.

WANG Teng, ZHAO Ming, LIU Kunyi, et al. Optimization of an instant hawk tea formulation using fuzzy mathematics-based sensory evaluation and response surface methodology [J]. Modern Food Science and Technology, 2024, 40(8): 211-219.

收稿日期: 2023-07-22

基金项目: 国家重点研发计划项目 (2022YFD1601804); 云南省重大科技专项计划 (202402AE090011); 云南省科技厅项目 (202104BI090008); 云南特色植物提取实验室自主研究项目 (2022YKZY001)

作者简介: 王藤 (1996-), 女, 博士研究生, 研究方向: 茶叶生物化学, E-mail: 2548001448@qq.com

通讯作者: 马燕 (1975-), 女, 硕士, 副教授, 研究方向: 茶叶生物化学, E-mail: mayan202@163.com

**Abstract:** Instant Hawk tea was produced using extraction, concentration, and spray-drying processes, and its formulation was further optimized by means of fuzzy mathematics-based sensory evaluation, single-factor experiments, and the response surface methodology. Additionally, functional components in the tea were identified. The optimal amounts of Hawk tea powder, Chinese licorice extract, and mint extract in the instant tea formulation are determined to be 0.3, 0.03, and 0.05 g, respectively. The instant Hawk tea has a cool and sweet taste. The mass fractions of polyphenols, free amino acids, soluble sugars, and total flavonoids are 4.11%, 3.95%, 5.86%, and 6.83%, respectively. HPLC analysis detected 16 free amino acids in total, with serine (5.88 mg/g), aspartic acid (1.70 mg/g), glutamic acid (1.64 mg/g), and  $\gamma$ -aminobutyric acid (0.21 mg/g) being predominant. Moreover, 11 polyphenols, including catechin (9.26 mg/g), myricetin (1.53 mg/g), rutin (1.22 mg/g), epicatechin (1.09 mg/g), quercetin (0.48 mg/g), and kaempferol (0.44 mg/g), were detected. In conclusion, a good-flavored instant Hawk tea rich in active ingredients such as flavonoids and amino acids was successfully developed and is expected to have promising market potential.

**Key words:** instant; hawk tea; fuzzy mathematics-based sensory evaluation; response surface analysis; formulation optimization; functional components

老鹰茶 (Hawk Tea) 是樟科 (Lauraceae) 朝鲜木姜子 (*Litsea coreana* H. Lévl.) 的变种豹皮樟和毛豹皮樟的嫩梢或叶片炒制、烘干而成的代用茶<sup>[1]</sup>。研究表明, 老鹰茶富含多酚、氨基酸、必需氨基酸和微量元素, 具有抗氧化、降胆固醇、缓解酒精性肝损伤等功能<sup>[2-4]</sup>。由于具有多种保健功效, 老鹰茶作为代用茶叶在川渝等地区具有广泛的饮用。除了作为茶叶饮用之外, 也有“老鹰茶糯米酒”<sup>[5]</sup>、“老鹰茶发酵饮料”<sup>[6]</sup>的文献报道, 但开发仍然有待深入。此外, 由于老鹰茶滋味独特, 提升加工产品的风味滋味, 成为老鹰茶产品开发的首要问题。

感官评价是食品研发的重要评判指标。模糊数学感官综合评价法能综合考虑各项主观评价因素, 减少误差, 提高评价结果的准确性、客观性、合理性<sup>[7,8]</sup>。目前模糊数学综合评价法在食品研发上运用非常广泛, 如谢小瑜等<sup>[9]</sup>利用模糊数学感官评价法对红枣茶发酵饮料工艺进行优化, 吕俊丽等<sup>[10]</sup>采用模糊数学感官评价法优化辣木籽杂粮面包配方。目前, 还未见将模糊数学感官评价法应用于研发老鹰茶精深加工产品的报道。

基于此, 本研究以老鹰茶为原料, 通过浸提、浓缩、喷雾干燥等技术制作老鹰茶速溶茶, 并配以薄荷、甘草提取物作为风味矫正剂, 通过模糊数学感官评价法整合建立理想化的评价模型, 以期研制出一款风味独特、口感愉悦的速溶老鹰茶产品, 为老鹰茶的精深加工提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与仪器

老鹰茶 (为嫩叶茶采摘单芽至一芽三叶, 含水量为 7.41%), 购买于云南省昭通市盐津县; 甘草提取物 (含量为 99%, 含水量为 2.53%), 青海倍力甘草科技发展有限公司; 薄荷提取物 (含量为 99%, 含水量为 2.07%), 陕西元贝贝生物科技有限公司; 食用乙醇, 西陇化工股份有限公司; 甲醇、乙腈、乙酸 (色谱纯), 美国 TEDIA 试剂公司; 儿茶素 (Catechin, C)、茶素没食子酸酯 (Catechin-3-gallate, CG)、表儿茶素 (Epicatechin, EC) 等酚类标准品, 成都曼思特生物科技有限公司; 谷氨酸、天冬氨酸和  $\gamma$ -氨基丁酸 ( $\gamma$ -aminobutyric acid, GABA) 等氨基酸标准品, 美国安捷伦公司; 其余试剂均为国产分析纯。

M-3000 Y 型喷雾干燥机, 上海豫明仪器有限公司; K6600-A 全波长酶标仪, 北京凯奥科技发展有限公司; MF-320 G 多级闪蒸器, 河南智晶生物科技股份有限公司; 1200 型高速液相色谱系统, 美国安捷伦公司。

### 1.2 试验方法

#### 1.2.1 速溶老鹰茶的制作

参考梁正维等<sup>[11]</sup>制作速溶茶方法, 略作修改。按照图 1 的流程制作速溶老鹰茶, 主要操作包括:

老鹰茶粉碎，以 20 倍的 40% 体积分数的食用乙醇，浸提 36 h，过滤收集滤液；重复浸提两次，过滤合并滤液，50 °C 减压浓缩至原体积的 1/3，根据预实验优化的参数将浓缩后的液体在进风温度（180 °C）、物料流速（20 mL/min）、出口温度（85 °C）喷雾干燥制备速溶老鹰茶。并配以薄荷、甘草提取物作为风味矫正剂，通过模糊数学感官评价法整合建立理想化的评价模型，以期研制出一款风味独特、口感愉悦的速溶老鹰茶产品。

1.2.2 速溶老鹰茶配方单因素试验

应用模糊数学综合感官评分研究不同质量速溶老鹰茶（0.1、0.2、0.3、0.4、0.5 g）、甘草提取物用量（0.01、0.02、0.03、0.04、0.05 g）、薄荷提取物用量（0.03、0.04、0.05、0.06、0.07 g）的感官风味，优化各因素较适水平。

1.2.3 速溶老鹰茶配方响应面试验

利用 Box-Behnken 软件在单因素实验的基础上进行响应面实验设计，因素水平见表 1。

1.2.4 感官评价

选择 10 名具有专业品鉴能力的评价人员组成评价小组，对速溶老鹰茶配方进行审评。取茶样

1 份，茶水比（质量体积比）200 mL 置于相应的审评杯中，注满沸水，不断搅拌使其溶解。从速溶老鹰茶的粉末色泽、粒度、溶解稳定性、口感进行感官审评，按照产品差异将其分为优、良、中、差 4 个等级，感官评价标准见表 2。

从速溶老鹰茶的粉末色泽、粒度、溶解稳定性、口感进行感官审评，按照产品差异将其分为优、良、中、差 4 个等级，感官评价标准见表 2。

表 1 响应面因素与水平

Table 1 Factors and levels in response surface design

水平	A 速溶老鹰茶/g	B 甘草提取物/g	C 薄荷提取物/g
-1	0.3	0.02	0.04
0	0.3	0.03	0.05
1	0.4	0.04	0.06

1.2.5 建立模糊数学感官评价模型

1.2.5.1 建立评价因素集和评语集

设产品的评价因素集为 U，等级集为 V。其中， $U=\{\text{色泽}(u_1), \text{粒度}(u_2), \text{溶解稳定性}(u_3), \text{口感}(u_4)\}$ ； $V=\{\text{优}(v_1), \text{良}(v_2), \text{中}(v_3), \text{差}(v_4)\}$ 。

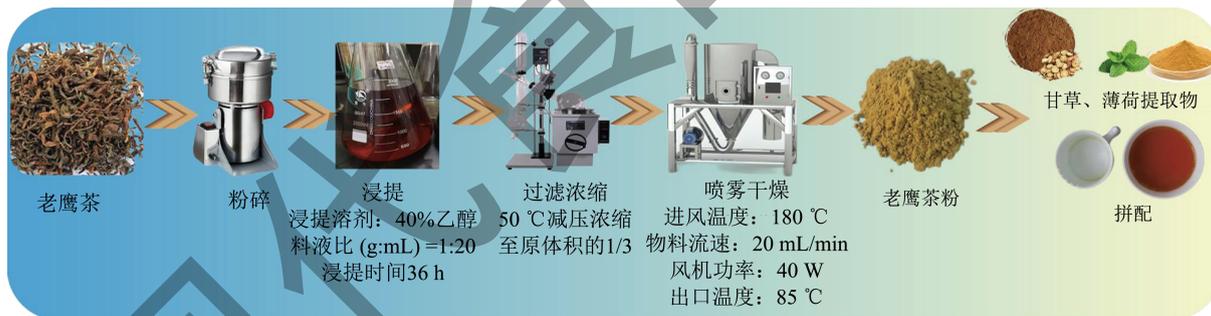


图 1 速溶老鹰茶制作流程

Fig.1 Manufacture process for instant hawk tea

表 2 速溶老鹰茶感官评价标准

Table 2 Sensory evaluation criteria for instant hawk tea

等级	色泽	粒度	溶解稳定性	口感
优 (≥80分)	色泽均匀，整体呈棕色	粉末颗粒细腻饱满，无结块	溶解迅速，冷却静置无沉淀	清凉，有老鹰茶独特风味，甘甜无苦涩感
良 (61~79分)	色泽比较均匀，表面呈棕褐色，底部呈棕色	粉末颗粒均匀，有细微结块	溶解迅速，冷却静置无明显沉淀，液体微浑浊	清凉，有老鹰茶独特风味，有甜味，后味有苦涩感
中 (41~60分)	色泽不均匀，呈棕褐色，有少量白色粉末	粉末颗粒不均匀，有结块	溶解慢，冷却后有沉淀	清凉，老鹰茶味淡薄，有甜味，后味有苦涩感
差 (≤40分)	整体呈棕褐色，白色粉末明显	粉末颗粒不均匀，大量结块粘连	需搅拌才能完全溶解，且冷却后有沉淀	老鹰茶味淡薄，苦涩感明显

### 1.2.5.2 建立评价因素权重集

采用环比法确定感官评价权重集为  $X$ ,  $X=\{ \text{色泽}(x_1), \text{粒度}(x_2), \text{溶解稳定性}(x_3), \text{口感}(x_4) \}$ 。同样选取 10 名具有专业品鉴能力的评价人员对产品感官因素权重集合打分, 取平均值。则可以得到权重集  $=\{0.16, 0.22, 0.21, 0.41\}$ , 即色泽、粒度、溶解稳定性、口感分别占比为 0.16、0.22、0.21、0.41, 权重表如表 3。

表 3 速溶老鹰茶各指标权重

因素	色泽	粒度	溶解稳定性	口感
相对比值	0.75	1.03	0.50	—
修正后	0.39	0.52	0.50	1
权重值	0.16	0.22	0.21	0.41

### 1.2.5.3 评价体系建立

模糊关系综合评价结果为  $A_i=X \cdot C_i$ 。其中,  $x$  为权重集,  $C_i$  表示评判矩阵, 综合评价总分  $Y_i=A_i \times V$ 。

### 1.2.6 溶解度测定

称取 0.500 0 g (精确至 0.000 1 g) 速溶老鹰茶加入 100 mL 蒸馏水, 振荡混匀, 在 3 000 r/min 条件下离心 5 min, 取上清液 25 mL 后 105 °C 烘干, 计算上清液中干物质含量占溶液总干物质含量的百分数<sup>[12]</sup>。

### 1.2.7 功能活性成分测定

参考茶叶成分检测方法<sup>[13]</sup>, 速溶茶样品水分、多酚、游离氨基酸、可溶性糖的质量分数分别应用水分测定仪、酒石酸亚铁法、茚三酮比色法、蒽酮比色法测定; 茶红素、茶黄素及茶褐素的质量分数应用萃取比色法检测; 黄酮质量分数应用亚硝酸钠-硝酸铝-氢氧化钠显色法测定<sup>[14]</sup>。

儿茶素等物质含量测定<sup>[15]</sup>: 称取 0.10 g 速溶茶样品, 加入 10 mL  $\varphi=70\%$  甲醇, 4 °C 静置 24 h, 离心, 上清液过 0.45  $\mu\text{m}$  的尼龙膜, 为待测液。应用美国安捷伦 1200 型高速液相色谱系统测定, 色谱柱为 Poroshell 120 (4.6 $\times$ 100 mm, 2.7  $\mu\text{m}$ ), 流动相 A 为 5% 乙腈, 0.261% 磷酸水溶液, 流动相 B 为 80% 甲醇; 流速为 0.8 mL/min; 柱温为 35 °C。

氨基酸组含量测定<sup>[16]</sup>: 称取速溶茶样品 1 g, 置于 100 mL 锥形瓶中, 加入沸水 80 mL, 80 °C 水

浴提取 1 h, 每隔 10 min 摇匀一次, 冷却后过滤至 100 mL 容量瓶中定容, 摇匀后取茶汤 1 mL 加入 200  $\mu\text{L}$  氯仿振荡萃取, 静置 10 min, 12 000 r/min 离心 10 min, 取上清液, 0.45  $\mu\text{m}$  尼龙膜过滤, 应用美国安捷伦 1200 型高速液相色谱系统测定, 色谱柱为 Venusil AA (4.6 $\times$ 250 mm, 5  $\mu\text{m}$ ); 流速为 1 mL/min; 柱温为 40 °C。流动相 A 相为: 15.20 g 的无水醋酸钠, 加水 1 850 mL 溶解, 用冰醋酸调节 pH 值至 7.2, 后加入 140 mL 乙腈; B 相为 40% 乙腈、40% 甲醇及 0.3% 乙酸的水溶液。激发波长为 230 nm, 发射波长为 450 nm。

### 1.3 数据处理

采用 SPSS 27.0 进行数据处理。使用 Design-Expert 8.0.6 设计 Box-Behnken 三因素三水平响应面。使用 GraphPad Prism 9.0 将处理后的数据可视化, 每个处理重复 3 次, 以平均值 ( $\bar{x} \pm s$ ,  $n=3$ ) 表示实验结果。

## 2 结果与讨论

### 2.1 速溶老鹰茶模糊数学感官评价模型建立

#### 2.1.1 模糊数学感官评价模型建立

10 名感官评定人员对单因素实验中的 15 组样品进行感官评分打分, 各个等级的各项指标票数统计结果见表 4。

#### 2.1.2 模糊评定矩阵确定

模糊评定矩阵将每个样品的各自影响因素的得票数除以总人数, 即可得到 15 个评判矩阵  $C_1-C_{15}$ 。例: 1 号样品的色泽评价, 10 名审评员有 0 人评价优 ( $v_1$ ), 0 人评价良 ( $v_2$ ), 4 人评价中 ( $v_3$ ), 6 人评价差 ( $v_4$ ), 则样品 1 的评判矩阵为:

$$C_1 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0.4 & 0.6 \\ 0.2 & 0.6 & 0.2 & 0 \\ 0.3 & 0.7 & 0 & 0 \\ 0.5 & 0.5 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

同理, 可得样品  $C_2-C_{15}$  的模糊矩阵。综合感官评分根据模糊矩阵乘法计算, 将权重  $x$  乘以评判矩阵  $C_i$  得到每个样品的模糊综合感官评价结果:  $A_i=X \cdot C_i$ 。例如:

$$A_i=X \cdot C_i = \begin{bmatrix} 0.16 & 0.22 & 0.21 & 0.41 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0.4 & 0.6 \\ 0.2 & 0.6 & 0.2 & 0 \\ 0.3 & 0.7 & 0 & 0 \\ 0.5 & 0.5 & 0 & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.312 & 0.484 & 0.108 & 0.096 \end{bmatrix}$$

表 4 速溶老鹰茶感官评价指标统计

Table 4 Statistics of sensory evaluation indexes of instant hawk tea

样品	色泽				粒度				溶解稳定性				口感			
	V <sub>1</sub>	V <sub>2</sub>	V <sub>3</sub>	V <sub>4</sub>	V <sub>1</sub>	V <sub>2</sub>	V <sub>3</sub>	V <sub>4</sub>	V <sub>1</sub>	V <sub>2</sub>	V <sub>3</sub>	V <sub>4</sub>	V <sub>1</sub>	V <sub>2</sub>	V <sub>3</sub>	V <sub>4</sub>
1	0	0	4	6	2	6	2	0	3	7	0	0	5	5	0	0
2	0	8	2	0	0	7	1	2	4	6	0	0	2	6	2	0
3	9	1	0	0	6	4	0	0	8	2	0	0	2	8	0	0
4	6	3	1	0	0	2	6	2	0	0	2	8	0	0	1	9
5	0	2	8	0	0	0	8	2	0	1	9	0	0	1	1	8
6	3	5	1	0	4	6	0	0	3	4	4	0	0	0	8	2
7	2	6	2	0	2	4	4	0	0	0	9	1	0	1	9	0
8	4	6	0	0	5	5	0	0	2	8	0	0	8	1	1	0
9	0	2	7	1	0	4	3	3	2	5	3	0	5	3	2	0
10	2	8	0	0	1	9	0	0	4	6	0	0	0	8	2	0
11	0	4	6	0	0	0	8	2	0	6	4	0	0	3	7	0
12	1	4	5	0	0	0	7	3	1	5	4	0	2	5	3	0
13	8	2	0	0	4	6	0	0	2	8	0	0	8	2	0	0
14	2	8	0	0	0	9	1	0	0	4	4	2	2	8	0	0
15	2	7	1	0	2	5	3	0	0	4	4	2	1	8	1	0

同理，可得样品 C2-C15 的模糊综合感官评价结果。模糊综合评价总分  $Y=A \cdot V$ ，V 为评价评语集  $V=\{90, 70, 50, 30\}$ ，以样品 1 为例  $A_1=\{0.312 \ 0.484 \ 0.108 \ 0.096\}$ ，所以样本

$$Y_1=A_1 \cdot V = \begin{bmatrix} 0.312 & 0.484 & 0.108 & 0.096 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 90 \\ 70 \\ 50 \\ 30 \end{bmatrix} = 70.34$$

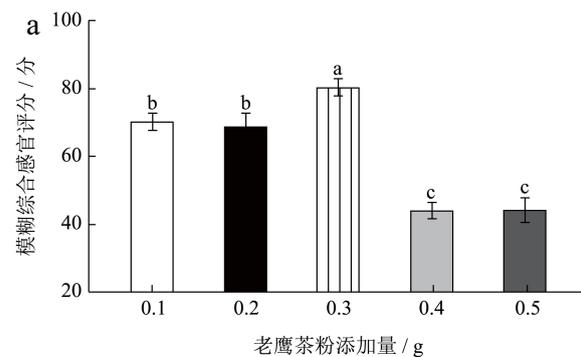
同理可得： $Y_2=68.84$ ； $Y_3=80.52$ ； $Y_4=44.06$ ； $Y_5=44.44$ ； $Y_6=57.42$ ； $Y_7=57.12$ ； $Y_8=80.06$ ； $Y_9=65.2$ ； $Y_{10}=71.12$ ； $Y_{11}=59.78$ ； $Y_{12}=60.92$ ； $Y_{13}=81.72$ ； $Y_{14}=68.48$ ； $Y_{15}=66.52$ 。

## 2.2 速溶老鹰茶配方单因素实验优化

由图 2a 可知，感官评分值随老鹰茶粉量的增加呈先上升后下降的趋势。随着速溶老鹰茶质量增加，成品粉末颜色趋于正常呈黄棕色，且口感变得丰富，拥有老鹰茶独特风味。当速溶老鹰茶质量低于 0.3 g 时，所得成品滋味偏淡缺少老鹰茶独特风味，同时成品粉末偏白。当速溶老鹰茶量高于 0.3 g 时，粉末之间的粘性增大，成品粉末容易发生结块现象，同时苦味显现，并随速溶老鹰茶量的增加越来越苦涩。因此，单因素实验发现速溶老鹰茶量为 0.3 g 时，感官评分达到最高（80.52 分），风味最佳。

甘草提取物作为甜味剂，可以增加甜度，降低苦度。由图 2b 可知，感官评分随甘草提取物添加量的增加整体呈先上升后下降的趋势。当添加量低于 0.03 g 时，滋味较苦涩，矫味效果不强。当添加量高于 0.03 g 时，滋味过甜，同时甜味与老鹰茶滋味不协调，导致评分降低。因此，单因素实验发现甘草提取物添加量为 0.03 g 时得分最高（80.06 分）。

由图 2c 可知，感官评分随薄荷提取物添加量的增加呈先上升后下降的趋势。当添加量低于 0.05 g 时，薄荷提取物的矫味作用并不明显。随着薄荷提取物添加量的增加，清凉风味增强。当添加量高于 0.05 g，清凉风味掩盖了老鹰茶的风味。因此，单因素实验发现薄荷提取物适宜添加量为 0.05 g，评分最高（81.72 分）。



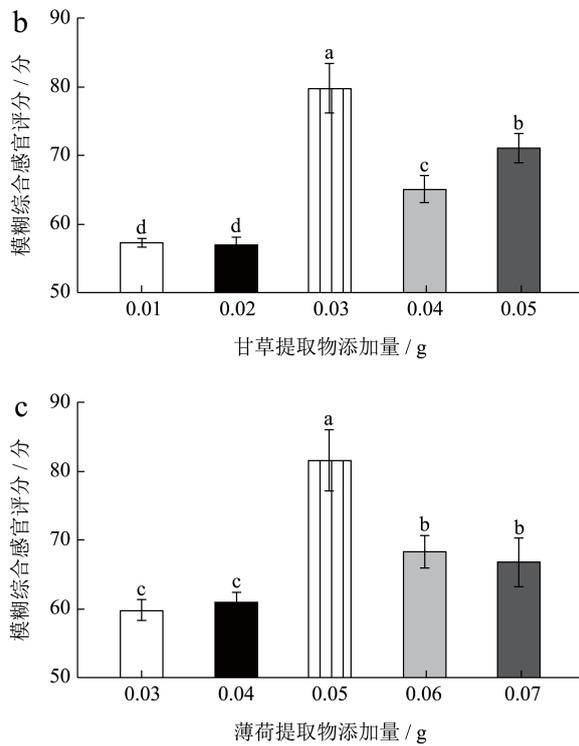


图 2 单因素实验模糊综合感官评分  
Fig.2 Fuzzy mathematical sensory evaluation scores of single factor test

注：图中不同字母表示不同添加量之间差异显著， $P < 0.05$ （下同）。

表 5 响应面实验设计方案及结果

试验号	A 速溶老鹰茶	B 甘草提取物	C 薄荷提取物	模糊综合感官评分(分)
1	0	0	0	78.80
2	1	-1	0	65.02
3	1	0	-1	65.32
4	0	0	0	82.58
5	0	-1	1	70.22
6	-1	0	0	62.32
7	0	1	-1	70.52
8	-1	1	0	66.12
9	-1	-1	-1	71.44
10	0	0	0	81.72
11	1	0	1	67.16
12	0	1	1	69.14
13	0	0	0	80.22
14	-1	0	1	65.62
15	0	-1	-1	73.22
16	1	1	0	52.63
17	0	0	0	80.56

### 2.3 速溶老鹰茶配方响应面优化试验结果

#### 2.3.1 模糊数学感官评价及模糊矩阵建立

响应面试验设计及模糊数学感官评价结果见表 5。

采用 Design-Expert 8.0.6 软件对表 5 结果拟合分析，得到拟合回归方程：

$$Y = 80.78 - 1.92A - 2.50B - 1.04C + 2.15AB + 1.91AC + 0.41BC - 11.32A^2 - 7.93B^2 - 2.07C^2$$

回归方程中各项系数的绝对值大小表示各添加因素对速溶老鹰茶模糊综合感官评分的影响，正负号表示的是因素对评分的影响方向。因此，可以得到速溶老鹰茶的感官评分中， $B$ （甘草提取物添加量） $> A$ （速溶老鹰茶添加量） $> C$ （薄荷提取物添加量）。

表 6 感官评价得分的方差分析

Table 6 Analysis of variance for sensory evaluation score

方差来源	平方和	自由度	方差	F 值	P 值	显著性
回归模型	1 010.69	9	112.30	24.15	0.000 2	**
A	29.57	1	29.57	6.36	0.039 7	*
B	49.90	1	49.90	10.73	0.013 6	*
C	8.74	1	8.74	1.88	0.212 8	
AB	18.49	1	18.49	3.98	0.086 3	
AC	14.67	1	14.67	3.16	0.118 9	
BC	0.66	1	0.66	0.14	0.718 3	
A2	539.83	1	539.83	116.11	<0.000 1	**
B2	264.98	1	264.98	57.00	0.000 1	**
C2	18.01	1	18.01	3.87	0.089 8	
残差	32.54	7	4.65			
失拟项	24.14	3	8.05	3.83	0.113 7	不显著
纯误差	8.41	4	2.10			
合计	1 043.23	16				

注：“\*”表示影响显著（ $P < 0.05$ ）；“\*\*”表示影响极显著（ $P < 0.01$ ）。

#### 2.3.2 响应面试验结果方差分析

感官评价得分的方差分析结果如表 6 所示。回归模型  $F$  值为 24.15， $P$  值为 0.002 差异极显著，失拟项具有不显著性（ $P = 0.113 7 > 0.05$ ），表明建立的模型拟合度较好，且该模型无失拟因素的存在。模型相关系数  $R^2 = 0.968 8$ ，校正相关系数  $R^2_{adj} = 0.928 7$ ，两项值均接近于 1，表明速溶老鹰茶

感官评分预测值与实际值具有良好的 consistency。综上所述,该模型能反映各添加因素与速溶老鹰茶感官评价之间的关系。

### 2.3.3 两因子交互作用分析

根据模型方程所得的等高线及其响应面,如图3所示。AB、AC、BC的等高线呈椭圆形,表明AB、AC、BC各自具有显著的交互作用。

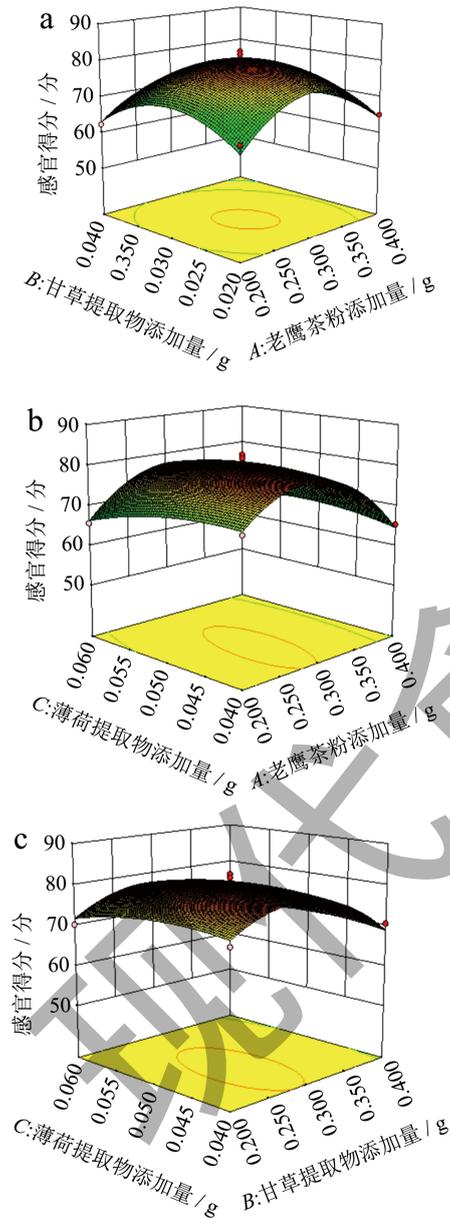


图3 响应面分析

Fig.3 Response surface analysis

### 2.3.4 验证实验结果

根据 Design-Expert 软件分析得出最优配方结果

为:速溶老鹰茶添加量 0.29 g、甘草提取物添加量 0.03 g、薄荷提取物添加量 0.05 g,感官评分预测值为 80.89 分。为方便实际操作,确定最佳配方为速溶老鹰茶添加量 0.30 g、甘草提取物添加量 0.03 g、薄荷提取物添加量 0.05 g。在该优化条件下进行验证试验 3 次,感官评分 80.78 分,接近理论值。

## 2.4 速溶老鹰茶的风味品质与活性成分

### 2.4.1 风味品质

根据优化配方制备速溶老鹰茶,感官审评结果如图4所示。该速溶茶均匀细腻,溶解性好(溶解度为 90.13%),汤色红亮,未见明显浑浊沉淀,具有老鹰茶的独特风味,入口甘甜且伴有适当的清凉感,模糊数学感官评分均值在 80.78 分。

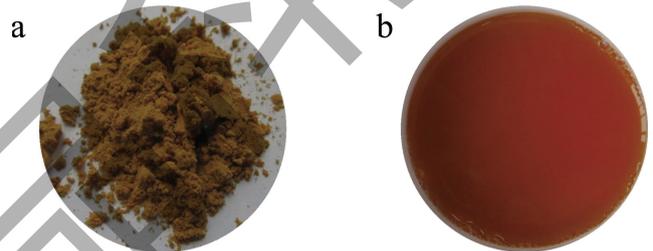


图4 速溶老鹰茶感官审评

Fig.4 Sensory evaluation of instant hawk tea

### 2.4.2 功能性成分含量

多项研究表明老鹰茶的降糖、降脂、抗氧化、抗炎与免疫调节等生理功能与其含有的黄酮、多糖等活性成分相关<sup>[17-21]</sup>。因此,本研究测定最佳配方速溶老鹰茶的含水量、多酚、游离氨基酸、可溶性总糖、总黄酮质量分数分别为 5.22%、4.11%、3.95%、5.86%、6.83% (图 5a)。总黄酮物质是老鹰茶中重要的功效成分,具有抗氧化、抗炎、降血糖等多种药理功能<sup>[22]</sup>。值得注意的是多酚是赋予茶汤收敛性的主要贡献因子<sup>[23]</sup>,而可溶性糖是使茶汤呈现甜味的主要贡献因子<sup>[24]</sup>,游离氨基酸是茶汤鲜爽滋味的重要来源<sup>[24]</sup>,黄酮是茶叶中极其重要的滋味成分<sup>[25,26]</sup>,会使茶汤呈现苦涩味<sup>[27]</sup>,而可溶性糖又可缓解茶汤中的苦味,使茶汤口感变得甘醇<sup>[28]</sup>。在感官审评结果中,茶汤滋味入口甘甜推测与黄酮以及可溶性糖含量有着必然联系。

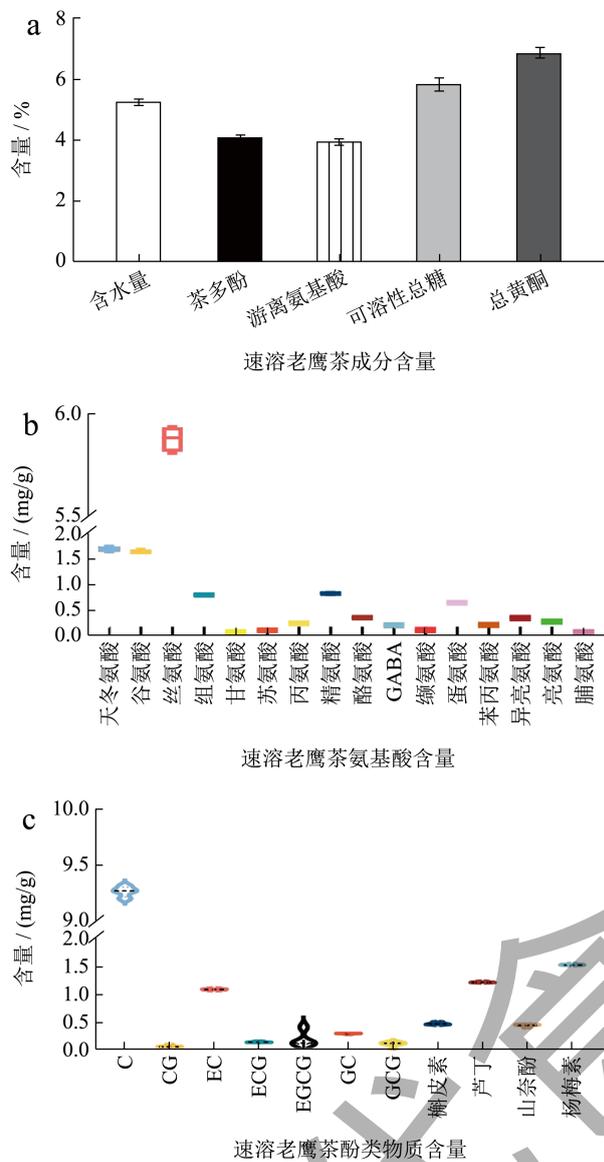


图 5 速溶老鹰茶功能成分含量

Fig.5 Contents of functional compounds in instant hawk teas

此外，从速溶老鹰茶中共检测出 16 种游离氨基酸，含量在 0.08~5.88 mg/g (图 5b)；其中含量最高的是丝氨酸 5.88 mg/g，虽然丝氨酸在传统营养学中虽被归类为非必需氨基酸，但它参与机体代谢网络，具有促进细胞增殖分化、提高抗氧化功能及改善免疫功能等多种生理功能<sup>[29]</sup>。此外，还检测到  $\gamma$ -氨基丁酸含量为 0.21 mg/g； $\gamma$ -氨基丁酸作为动物体中枢神经系统中重要的抑制性神经递质，具有安神和防止动脉硬化等功能<sup>[19]</sup>。从速溶老鹰茶中共检测到 11 种多酚类物质，分别为 C、CG、EC、ECC 等。其中，C (儿茶素) 含量为 9.26 mg/g、杨梅素含量为 1.53 mg/g、芦丁含量为 1.22 mg/g、EC 含量为 1.09 mg/g、槲皮素含量为 0.48 mg/g、山奈酚的含量为 0.44 mg/g (图 5c)。据报道，儿茶素具有抗菌、

抗癌、抗氧化、预防糖尿病和心血管疾病、抗病毒的作用<sup>[30]</sup>；杨梅素可改善由免疫应答引起的炎症反应<sup>[31]</sup>；芦丁具有抗炎、抗氧化、保护血管和神经等多种活性<sup>[32]</sup>；槲皮素拥有降血糖<sup>[33]</sup>、神经保护<sup>[34]</sup>和改善心脑血管<sup>[35]</sup>的特性；山奈酚具有抗癌和保护损伤细胞<sup>[36]</sup>等功能。罗学平等<sup>[37]</sup>优化了老鹰茶粉喷雾干燥工艺条件，所得速溶茶为棕红色粉末并且总黄酮含量为 4.23%，多酚类为 6.87%，可溶性糖为 9.98%，氨基酸为 4.21%，与本研究速溶老鹰茶配方中的活性成分种类一致，且总黄酮含量低于本研究中的含量。综上，速溶老鹰茶产品富含黄酮、多酚、氨基酸等多种活性物质，其保健功效值得进一步研究。

### 3 结论

模糊数学感官评价法，结合单因素和响应面实验对速溶老鹰茶产品配方优化，确定了最佳配比为：速溶老鹰茶量 0.3 g、甘草提取物添加量 0.03 g、薄荷提取物添加量 0.05 g。该条件下，速溶老鹰茶模糊数学感官评分均值在 80.78 分，其粉末均匀细腻、清凉甘甜，富含黄酮、多酚、可溶性糖、游离氨基酸等多种活性成分。本研究丰富了老鹰茶深加工产品种类，为老鹰茶产品研发提供了新思路。

### 参考文献

- [1] 王雨鑫,邓燕莉,姚松林,等.贵州4个县域豹皮樟老鹰茶的理化品质比较[J].浙江农业学报,2021,33(1):142-149.
- [2] XU Q, ZHOU Y J, WANG J H. The impact of fixation method on the biochemical characteristics of hawk tea (*Litsea coreana*) [J]. International Journal of Food Engineering, 2020, 16(8): 20190290.
- [3] FENG J, YANG J, CHANG Y, et al. Caffeine-free hawk tea lowers cholesterol by reducing free cholesterol uptake and the production of very-low-density lipoprotein [J]. Communications Biology, 2019, 2(1): 173.
- [4] LIU Y, LUO Y K, ZHANG L, et al. Chemical composition, sensory qualities, and pharmacological properties of primary leaf hawk tea as affected using different processing methods [J]. Food Bioscience, 2020, 36: 100618.
- [5] 唐佳代,田婷婷,王芙蓉,等.低醇老鹰茶糯米酒发酵工艺条件优化[J].中国酿造,2022,41(11):45-48.
- [6] 吴丽,周文斌,谢娜娜,等.老鹰茶发酵饮料及抗氧化活性研究[J].食品工业科技,2021,42(11):168-173.
- [7] YU M, MA J H, WANG X H, et al. Peanut sprout yogurt: Increased antioxidant activity and nutritional content and sensory evaluation by fuzzy mathematics [J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2022, 46(7): e16663.

- [8] 沙芮,丁洁,陈静,等.模糊数学感官评价法优化桑叶速溶固体茶配方[J].食品工业科技,2022,43(11):200-207.
- [9] 谢小瑜,冯俊毓,覃丽芳.模糊数学感官评价法优化红枣茶发酵饮料工艺[J].粮食与油脂,2021,34(2):84-88.
- [10] 吕俊丽,任志龙,云月英,等.基于模糊数学法的辣木籽杂粮面包配方优化及其品质分析[J].食品工业科技,2023(23):167-174.
- [11] 梁正维,王晓漫,刘小苏,等.三七茎叶-滇黄精速溶粉提取工艺及抗氧化活性分析[J].食品与发酵工业,2023,49(2):91-98.
- [12] SUMARGO F, GULATI P, WEIER S A, et al. Effects of processing moisture on the physical properties and *in vitro* digestibility of starch and protein in extruded brown rice and pinto bean composite flours [J]. Food Chemistry, 2016, 211: 726-733.
- [13] WANG Q P, GONG J S, CHISTI Y, et al. Production of theabrownins using a crude fungal enzyme concentrate [J]. Journal of Biotechnology, 2016, 231: 250-259.
- [14] 杨晓凤,韩梅,胡莉.分光光度法测定老鹰茶中黄酮类化合物[J].西南农业学报,2011,24(3):1234-1235.
- [15] NIAN B, CHEN L J, YI C, et al. A high performance liquid chromatography method for simultaneous detection of 20 bioactive components in tea extracts [J]. Electrophoresis, 2019, 40(21): 2837-2844.
- [16] ZHAO M, SU X Q, NIAN B, et al. Integrated meta-omics approaches to understand the microbiome of spontaneous fermentation of traditional chinese Pu-erh tea [J]. mSystems, 2019, 4(6): e00680.
- [17] ZHAO Q, KUN F, WANG W S, et al. Comparative study on the essential oils of six Hawk tea (*Litsea coreana* Levl. var. *lanuginosa*) from China: Yields, chemical compositions and biological activities [J]. Industrial Crops & Products, 2018, 124(15): 126-135.
- [18] GUPTA D A, BHASKAR D J, GUPTA R K, et al. Green tea: a review on its natural anti-oxidant therapy and cariostatic benefits [J]. Biologicals Sciences and Pharmaceutical Research, 2014, 2(1): 8-12.
- [19] QU L, LIANG X, GU B, et al. Quercetin alleviates high glucose induced Schwann cell damage by autophagy [J]. Neural Regeneration Research, 2014, 12: 1195-1203
- [20] LIU Y, WANG X H, CHEN Q B, et al. Camellia sinensis and *Litsea coreana* ameliorate intestinal inflammation and modulate gut microbiota in dextran sulfate sodium-induced colitis mice [J]. Molecular Nutrition & Food Research, 2020, 64(6): e1900943.
- [21] 郁建平,古练权.贵州老鹰茶的化学成分[J].植物资源与环境学报,2001,10(3):61-62.
- [22] 余保.不同基源老鹰茶黄酮类和挥发油的成分分析及活性比较[D].重庆:重庆医科大学,2017.
- [23] 罗赛.不同含水量发酵对普洱茶品质影响研究[D].重庆:西南大学,2016.
- [24] 黄赞.福建白茶化学成分与感官品质研究初报[D].福州:福建农林大学,2013
- [25] 朱晨,张舒婷,周承哲,等.萎凋处理对乌龙茶风味品质形成的转录组分析[J].生物工程学报,2022,38(1):303-327.
- [26] SHI J, YANG G Z, YOU Q A, et al. Updates on the chemistry, processing characteristics, and utilization of tea flavonoids in last two decades (2001-2021) [J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2023,63(20): 4757-4784.
- [27] SCHARBERT S, HOFMANN T. Molecular definition of black tea taste by means of quantitative studies, taste reconstitution, and omission experiments [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2005, 53(13): 5377-5384.
- [28] 鲍晓华.普洱茶贮藏年限的品质变化及种类差异研究[D].武汉:华中农业大学,2010.
- [29] SETH J P, CHRISTIAN M M. Chasing one-carbon units to understand the role of serine in epigenetics [J]. Molecular Cell, 2016, 61(2): 185-186.
- [30] 周露露,高原,牛智慧,等.茶叶中儿茶素的药理作用及其研究进展[J].辽宁化工,2018,47(4):316-318.
- [31] HUANG B X, LIU J X, MA D X, et al. Myricetin prevents dopaminergic neurons from undergoing neuroinflammation-mediated degeneration in a lipopolysaccharide-induced Parkinson's disease model [J]. Journal of Functional Foods, 2018, 45: 452-461.
- [32] 任亚爽,夏小雯,王香君,等.芦丁镇痛作用机制研究进展及临床应用展望[J].中国药理学通报,2023,39(5):807-811.
- [33] CHOI J, BAE J, KIM D S, et al. Dietary compound quercitrin dampens VEGF induction and PPAR gamma activation in oxidized LDL-exposed murine macrophages: association with scavenger receptor CD36 [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2010, 58(2): 1333-41.
- [34] JOSEPH K M D, MURALIDHARA. Enhanced neuroprotective effect of fish oil in combination with quercetin against 3 - nitropropionic acid induced oxidative stress in rat brain [J]. Progress in Neuropsychopharmacology & Biological Psychiatry, 2013, 40(1): 83-92.
- [35] GUO H P, ZHANG X, CUI Y Q, et al. Taxifolin protects against cardiac hypertrophy and fibrosis during biomechanical stress of pressure overload [J]. Toxicology and Applied Pharmacology, 2015, 287(2): 168-177.
- [36] CHOI E J, AHN W S. Kaempferol induced the apoptosis via cell cycle arrest in human breast cancer MDA-MB-453 cells [J]. Nutrition Research and Practice, 2008, 2(4): 322-325.
- [37] 罗学平,李丽霞,李清,等.老鹰茶喷雾干燥工艺试验研究[J].食品研究与开发,2016,37(22):111-114.