

DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20250519004

引用格式: 冯黎莎, 陈秋. 响应面法优化咖啡果皮饮料配方[J]. 食品安全质量检测学报, 2025, 16(16): 288–296.

FENG LS, CHEN Q. Optimization of coffee peel beverage formula by response surface methodology [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2025, 16(16): 288–296. (in Chinese with English abstract).

响应面法优化咖啡果皮饮料配方

冯黎莎*, 陈秋

(云南开放大学, 云南国防工业职业技术学院化学工程学院, 文山 650504)

摘要: 目的 以咖啡果皮和红茶为主要原料, 采用响应面法来优化咖啡果皮饮料配方。**方法** 首先对成熟的咖啡鲜果进行剥皮, 匀浆过滤后得到咖啡果皮汁, 加入红茶液、果糖和柠檬酸进行调配, 通过单因素实验和响应面法实验分析了咖啡果皮汁添加量、红茶液添加量、果糖添加量和柠檬酸添加量对咖啡果皮饮料的影响, 确定了咖啡果皮饮料的最佳配方。**结果** 咖啡果皮汁添加量为 28%、红茶液添加量为 40%、果糖添加量为 5%、柠檬酸添加量为 0.05%。此配方产品蛋白质含量(5.13±0.34)%、脂肪含量(4.94±0.78)%、膳食纤维(18.43±1.06)%、灰分(1.00±0.01)%。按此工艺加工的咖啡果皮汁饮料香气浓郁、色泽呈深琥珀色、酸甜可口。**结论** 应用响应面法优化咖啡果皮饮料配方, 为咖啡果皮的高值化利用和功能产品研发提供了另一条可行路径。

关键词: 云南小粒咖啡; 咖啡果皮; 红茶; 饮料; 响应面法

Optimization of coffee peel beverage formula by response surface methodology

FENG Li-Sha*, CHEN Qiu

(Yunnan Open University, School of Chemical Engineering, Yunnan Polytechnic of National Defense Industry, Wenshan 650504, China)

ABSTRACT: Objective To optimize coffee peel beverage formula by response surface methodology with coffee peel and black tea as the main ingredients. **Methods** First, the ripe coffee fresh fruits were peeled. After homogenization and filtration, coffee peel liquid was obtained. This liquid was then mixed with black tea liquid, fructose and citric acid for formulation. Single-factor experiments and the response surface methodology were employed to investigate the effects of the addition amounts of coffee peel juice, black tea liquid, fructose, and citric acid on the coffee peel beverage, thereby determining the optimal formulation for it. **Results** The optimal addition amounts were 28% coffee peel juice, 40% black tea liquid, 5% fructose and 0.05% citric acid. This formulation yielded a product with protein content (5.13±0.34)%, fat content (4.94±0.78)%, dietary fiber (18.43±1.06)%, ash (1.00±0.01)%. The coffee peel juice beverage processed according to this process had a strong aroma, a deep amber color, and a delicious sour and sweet taste. **Conclusion** The application of response surface methodology to optimize the formula of coffee peel beverage provides another feasible way for the high value utilization of coffee peel and the development of functional products.

KEY WORDS: Yunnan arabica coffee; coffee peel; black tea; beverage; response surface methodology

收稿日期: 2025-05-19

基金项目: 云南省教育厅科学研究基金项目(2018JS367)

第一作者/*通信作者: 冯黎莎(1981—), 女, 硕士, 副教授, 主要研究方向为资源植物。E-mail: fenglisa@126.com

0 引言

云南小粒种咖啡种植区主要分布在云南普洱、临沧、保山、德宏、西双版纳、大理、怒江等地州, 优越的地理条件使得云南的咖啡产业发展迅速^[1-4]。据统计, 2010 年云南省咖啡种植面积 183.15 万亩。之后随着咖啡价格持续走低而有所减少。截至 2022 年, 种植面积达到 127.3 万亩, 总产量 11.36 万 t, 农业产值 34.5 亿元, 种植面积、产量、农业产值均占全国的 98% 以上^[5-7]。

咖啡豆的初级加工普遍都采用湿法加工技术^[8-10]。据调查, 一般加工 1 t 咖啡鲜果产生 0.5 t 皮渣(包括果皮、果肉), 云南咖啡产区每年咖啡鲜果处理加工产生皮渣约 39.68 万 t^[11]。陈旋等^[12]利用咖啡果皮制备乙醇。李雄^[13]和王丹丹等^[14]以咖啡果皮为原料提取可溶性膳食纤维。徐紫琪等^[15]探究从咖啡果皮中提取色素并研究果皮色素的抗氧化活性。赵青云等^[16]建议将咖啡果皮添加纤维素酶和果胶酶堆沤, 这样制作的有机肥有利于作物生长, 否则咖啡果皮直接还田会抑制咖啡幼苗生长。郎心茹^[17]用不同的方式提取咖啡果皮果胶。张云鹤^[18]从咖啡果皮中提取花青素。这些研究都为咖啡果皮的高值化利用提供了理论支撑。

胡荣锁等^[19]通过对 5 个产区咖啡果皮的基本成分、脂肪酸和氨基酸组成测定, 结果表明纤维素、蛋白质和总糖是咖啡果皮主要成分, 咖啡果皮营养价值丰富。因此, 本研究通过开发咖啡果皮饮料, 将加工废弃物转化为功能性饮品, 减少环境污染, 助力绿色农业发展。

1 材料与方法

1.1 材料、试剂和设备

本研究选用产自云南的小粒咖啡鲜果作为实验对象。该咖啡鲜果采摘于云南省普洱市, 生长环境的绝对海拔约为 1300 m。

凤庆红茶、果糖、柠檬酸: 市售, 均为食品级。

LC-FA1004 型电子天平(精度 0.0001 g, 力辰科学仪器有限公司); IKA T10 型分散机(艾卡仪器设备有限公司); SPX501S 型搅拌机(浙江苏泊尔股份有限公司)。

1.2 方法

制备咖啡果皮饮料的生产工艺:

①咖啡鲜果→剥皮→搅拌→分散匀浆→过滤→咖啡果皮汁;

②红茶→冲泡→过滤→红茶液;

③辅料→溶解→过滤→辅料溶液;

①+②+③搅拌混合均匀→成品。

1.3 操作要点

1.3.1 咖啡果皮汁

选取咖啡鲜果时应注意其外观完整, 圆润饱满, 颜色

呈深红色或红紫色。挑除有破皮、腐烂、病虫害的果实。挑取新鲜的咖啡果, 通过剥皮得到咖啡果皮, 按照咖啡果皮与水质量比 1:4 进行搅拌, 浆液采用分散机进行均质, 均质后的浆液采用 120 目滤袋进行过滤, 得到咖啡果皮汁。

1.3.2 红茶液

称取一定量的红茶, 以纯净水作为溶剂, 90 °C 水浴浸提 20 min, 过滤后加沸水定容至 1 L 备用。

1.3.3 调配

在 1 L 的红茶液中加入适量的蔗糖、柠檬酸, 进行搅拌调配均匀。

1.4 咖啡果皮饮料的感官评价

咖啡果皮饮料感官评价由食品专业人员 20 人组成评定小组, 针对产品的色泽(0~25 分)、组织与形态(0~35 分)、香气及滋味(0~40 分)进行感官分析及评价^[20-21], 感官评价标准见表 1。

表 1 咖啡果皮饮料的感官评价标准

感官指标	评分标准	分数/分
色泽	呈现深琥珀色、透明	16~25
	呈现红棕色、透明度不够	6~15
	色泽暗淡或无色	1~5
组织与形态	澄清透明、无沉淀	21~35
	略有浑浊、有少量悬浮物	11~20
	色泽浑浊、有大量沉淀	1~10
香气及滋味	香气浓郁、滋味协调、无异味	31~40
	香味不明显, 异味稍明显	21~30
	无香味, 异味十分明显	1~20

1.5 单因素实验

以感官评分为指标, 对咖啡果皮汁添加量(10%、20%、30%、40%、50%), 红茶液添加量(10%、20%、30%、40%、50%), 果糖添加量(2%、4%、6%、8%、10%), 柠檬酸添加量(0.03%、0.04%、0.05%、0.06%、0.07%)进行单因素实验^[22-26]。

1.6 产品理化指标分析

按照 GB 5009.5—2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》、GB 5009.6—2016《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》、GB 5009.88—2023《食品安全国家标准 食品中膳食纤维的测定》、GB 5009.4—2016《食品安全国家标准 食品中灰分的测定》分别测定咖啡果皮饮料中蛋白质、脂肪、膳食纤维和灰分含量。

1.7 数据处理

采用 Excel 2019 数据统计软件分析处理所得实验数据。通过 Design expert 10.0.3 进行响应面实验方案的设计

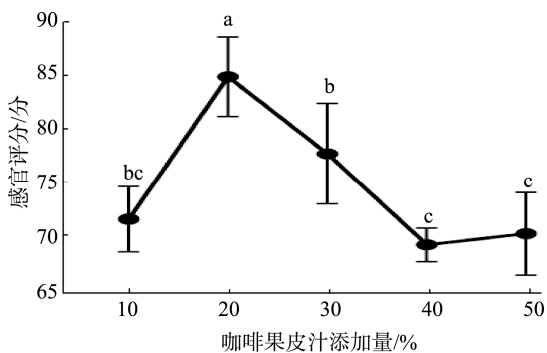
与分析、响应曲面图的绘制。每组实验均重复 3 次, 实验结果求平均值, 并且以均值 \pm 标准偏差表示。

2 结果与分析

2.1 单因素实验结果

2.1.1 咖啡果皮汁添加量的确定

本研究选取 5 份咖啡果皮汁含量分别为 10%、20%、30%、40%、50%, 与 50%红茶液、6%果糖、0.05%柠檬酸进行咖啡果皮汁添加量的单因素实验, 实验结果见图 1。



注: 不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$), 图 2~4 同。

图 1 咖啡果皮汁添加量单因素实验结果

Fig.1 Single-factor test results of coffee peel juice addition level

由图 1 可知, 当咖啡果皮汁添加量为 20%时, 感官评价分值最高。随着咖啡果皮汁添加量的增加, 感官评价分值呈现先上升后降低的趋势。因此, 选择 10%、20%和 30%的咖啡果皮汁进行响应面实验, 以优化咖啡果皮汁添加量。

2.1.2 红茶液添加量的确定

本研究选取 5 份红茶液含量分别为 10%、20%、30%、40%、50%, 与 20%咖啡果皮汁、6%果糖、0.05%柠檬酸进行红茶液添加量的单因素实验, 实验结果见图 2。

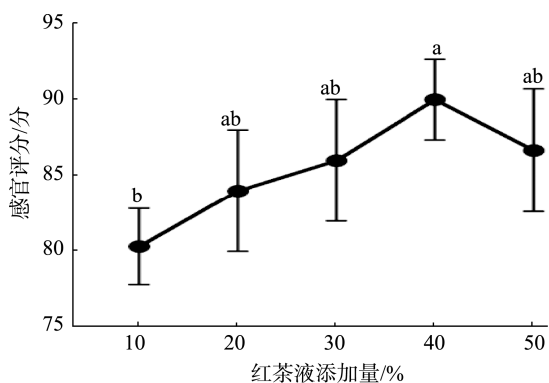


图 2 红茶液添加量单因素实验结果

Fig.2 Single-factor test results of black tea addition level

由图 2 可知, 当红茶液添加量为 40%时, 感官评价分值最高。随着红茶液添加量的增加, 感官评价分值呈现逐渐先上升后降低的趋势。因此, 选 30%、40%和 50%的

茶液进行响应面实验, 以优化红茶液添加量。

2.1.3 果糖添加量的确定

本研究选取 5 份果糖添加量分别为 2%、4%、6%、8%、10%, 与 20%咖啡果皮汁、50%红茶液、0.05%柠檬酸进行蔗糖添加量的单因素实验, 实验结果见图 3。

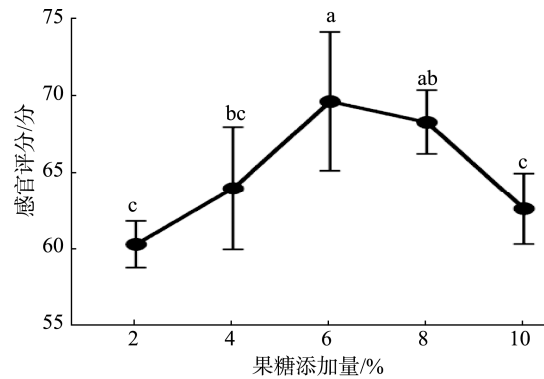


图 3 果糖添加量单因素实验结果

Fig.3 Single-factor test results of fructose addition level

由图 3 可见, 当果糖添加量为 6%时, 感官评分最高, 所制备饮料酸甜适口。因此选用 4%、6%、8%的果糖添加量, 进行响应面实验, 以优化出最佳添加量。

2.1.4 柠檬酸添加量的确定

本研究选取 5 份柠檬酸添加量 0.03%、0.04%、0.05%、0.06%、0.07%, 与 20%咖啡果皮汁、50%红茶液、6%果糖进行柠檬酸添加量的单因素实验, 实验结果见图 4。

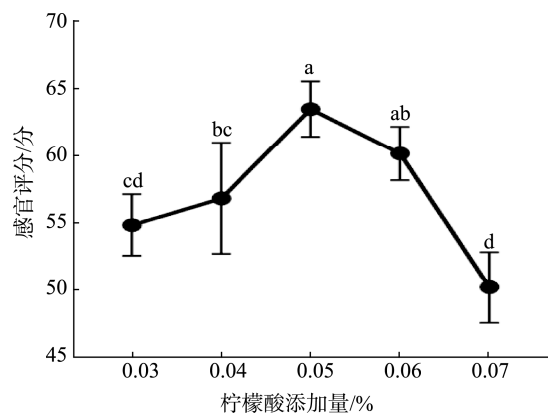


图 4 柠檬酸添加量单因素实验结果

Fig.4 Single-factor test results of citric acid addition level

图 4 可知, 当柠檬酸添加量为 0.05%时, 感官评价分值最高。但从感官评价的总体影响来看, 与其他因素相比, 柠檬酸添加量对感官评价的影响最低。因此, 选用 0.04%、0.05%、0.06%的柠檬酸添加量, 进行响应面实验, 以优化出最佳添加量。

2.2 响应面优化实验结果

2.2.1 响应面实验设计及结果

结合单因素实验结果, 以咖啡果皮汁添加量(A)、红茶

液添加量(B)、果糖添加量(C)、柠檬酸添加量(D)为自变量, 响应变量 Y 为感官评价分值。各取 3 个水平标记为-1、0、1, 采用响应面软件 Design Expert 10.0.3 进行因素水平设计, 进而得到感官评分的条件, 咖啡果皮饮料配方的因素水平见表 2, 响应面实验设计与结果见表 3。

表 2 咖啡果皮饮料配方的因素水平
Table 2 Factor levels of coffee peel beverage formulation

水平	因素			
	A(咖啡果皮汁添加量)/%	B(红茶液添加量)/%	C(果糖添加量)/%	D(柠檬酸添加量)/%
-1	10	30	4	0.04
0	20	40	6	0.05
1	30	50	8	0.06

表 3 咖啡果皮饮料配方响应面实验设计与结果
Table 3 Experimental design and results of response surface methodology for coffee peel beverage formula

实验号	A(咖啡果皮汁添加量)/%	B(红茶液添加量)/%	C(果糖添加量)/%	D(柠檬酸添加量)/%	感官评分/分
1	30	50	6	0.05	83
2	20	30	6	0.04	78
3	20	30	6	0.06	77
4	20	50	6	0.06	79
5	20	40	8	0.06	80
6	20	40	6	0.05	93
7	20	40	6	0.05	92
8	20	40	6	0.05	93
9	20	30	8	0.05	76
10	30	30	6	0.05	78
11	10	30	6	0.05	73
12	20	50	6	0.04	83
13	30	40	4	0.05	84
14	10	50	6	0.05	77
15	10	40	6	0.04	78
16	20	40	4	0.04	87
17	20	30	4	0.05	80
18	20	50	8	0.05	77
19	10	40	6	0.06	74
20	20	40	6	0.05	91
21	20	40	8	0.04	74
22	20	40	6	0.05	92
23	20	50	4	0.05	79
24	10	40	8	0.05	79
25	10	40	4	0.05	74
26	30	40	6	0.04	79
27	30	40	8	0.05	77
28	20	40	4	0.06	74
29	30	40	6	0.06	82

2.2.2 模型的建立与分析

根据响应曲面法的实验设计及结果, 实验采用 Design expert 10.0.3 数据分析软件对实验数据进行多元回归拟合^[27-31], 设咖啡果皮汁添加量、红茶液添加量、果糖添加量、柠檬酸添加量分别为 A、B、C、D, 以感官评分为响应值进行多元回归拟合, 回归模型系数及显著性检验结果见表 4, 得到二次多项回归模型。

$$Y_{\text{感官评分}} = 92.20 + 2.33A + 1.33B - 1.25C - 1.08D + 0.25AB - 3.00AC + 1.75AD + 0.50BC - 0.75BD + 4.75CD - 7.27A^2 - 7.02B^2 - 6.89C^2 - 6.39D^2$$

表 4 感官评分模型及回归系数的回归分析结果
Table 4 Regression analysis results of sensory rating model and regression coefficient

来源	离差平方和	自由度	均方	F	P	显著性
模型	1050.8753	14	75.06	40.60	0.0000	**
A(咖啡果皮汁添加量)	65.3333	1	65.33	35.34	0.0000	**
B(红茶液添加量)	21.3333	1	21.33	11.54	0.0043	**
C(果糖添加量)	18.7500	1	18.75	10.14	0.0066	**
D(柠檬酸添加量)	14.0833	1	14.08	7.62	0.0153	*
AB	0.2500	1	0.25	0.14	0.7186	
AC	36.0000	1	36.00	19.47	0.0006	**
AD	12.2500	1	12.25	6.63	0.0221	*
BC	1.0000	1	1.00	0.54	0.4742	
BD	2.2500	1	2.25	1.22	0.2886	
CD	90.2500	1	90.25	48.82	0.0000	**
A ²	342.5153	1	342.52	185.26	0.0000	**
B ²	319.3532	1	319.35	172.73	0.0000	**
C ²	308.0761	1	308.08	166.63	0.0000	**
D ²	264.9950	1	265.00	143.33	0.0000	**
残差	25.8833	14	1.85			
失拟项	23.0833	10	2.31	3.30	0.1307	ns
纯误差	2.8000	4	0.70			
总和	1076.7586	28				

$$R^2=0.9760; \text{Adj } R^2=0.9519; \text{Pre } R^2=0.8725$$

注: **. P<0.01 为极显著; *. P<0.05 为显著; ns. P>0.05 为不显著。

对表 4 进行模型整体评价, 回归模型 F=40.60, P<0.0001, R²=0.9760, 表明回归模型高度显著且拟合度优异, 能解释 97.60%的感官评分变异; 失拟项 P=0.1307 (>0.05), 说明失拟项无显著失拟, 模型形式合理; 回归决定系数 R²=0.9760, 校正决定系数 R²=0.9519, 预测系数 R²=0.8725, 说明模型稳定性好。因此可以利用方程模型对

感官评分的工艺参数进行优化。

对表 4 进行显著性因素分析, 主效应中 A(咖啡果皮汁添加量)、B(红茶液添加量)、C(果糖添加量)、D(柠檬酸添加量)均显著($P<0.05$, $P<0.01$), 其中 A、B 正向影响评分, C、D 负向影响, 以此表明咖啡果皮汁、红茶液、果糖和柠檬酸的添加量对感官评分均有显著影响。4 个因素对感官评分影响的重要程度为: 咖啡果皮汁添加量(A)>红茶液添加量(B)>果糖添加量(C)>柠檬酸添加量(D)。

主效应分析, A(咖啡果皮汁添加量)、B(红茶液添加量)具有正向线性影响, 表明存在最优添加量, C(果糖添加量)、D(柠檬酸添加量)应尽量低剂量添加。

交互作用分析, AC 协同抑制感官评分, 需避免同时高剂量添加, AD 协同提升感官评分, 可适度搭配, CD 协同提升感官评分, 需平衡两者添加量。AB、BC、BD 无显著交互作用, 可独立调整。

二次项分析, 所有因素的二次项(A^2 、 B^2 、 C^2 、 D^2)均极显著($P<0.01$), 表明各因素与感官评分呈抛物线关系, 存在最优添加量; 过量添加任何成分均会降低评分。

2.2.3 各因素的交互作用分析

等高线与曲面图能反映因素之间的交互作用, 图形表现得越陡峭表明两者之间的交互作用越显著。咖啡果皮汁添加量(A)、红茶液添加量(B)、果糖添加量(C)、柠檬酸添加量(D)对感官评分的影响见图 5~10。

如图 5 所示, AB 交互曲面中, 曲面呈“山峰状”, A 和 B 均存在最佳添加量, 超过后评分下降, 呼应回归模型中二次项(A^2 、 B^2)的极显著性($P<0.01$)。左上角(A=10%、B=50%): 评分仅 50 分, 提示低 A 高 B 导致风味失衡。右下角(A=30%、B=30%): 评分约 75 分, 过量 A 稀释茶香, 需规避。最优区(红色中心): A=20%~25%、B=40%~45%时, 评分高达 90 分。热力图颜色梯度显示 A 与 B 无强协同或拮

抗, 与回归分析中 AB 交互项不显著($P=0.7186$)一致。高分区沿对角线延伸, 表明 A 和 B 需按比例同步增加, 以维持风味平衡。咖啡果皮汁添加量模型预测极值为 28.381%, 红茶液添加量模型预测极值 41.042%。

如图 6 所示, AC 交互曲面中, 曲面顶部呈“山脊状”, 表明 A 和 C 需协同控制, 过量或不足均导致评分下降。A 或 C 极端值(如 A=10%或 30%、C=4%或 8%)时, 评分降至 70~75 分, 验证了过量添加的负面影响。曲面呈现先升后降的抛物线趋势, 呼应回归模型中 A^2 、 C^2 的极显著性($P<0.01$), 说明两者存在明确最优添加阈值。当 A 和 C 同时增加(如 A>25%、C>6%), 曲面快速下降, 直观体现 AC 交互项的显著负向效应($P=0.0006$)。等高线红色区域呈“狭长椭圆形”, 表明 A 和 C 需严格按照比例调整。等高线绿色边缘区域密集, 表明超出阈值后评分急剧下降。咖啡果皮汁添加量模型预测极值为 28.381%、果糖添加量模型预测极值为 5.399%。

如图 7 所示, AD 交互曲面中, 曲面顶部呈“山脊状”, 表明 A 和 D 需协同控制, 过量或不足均导致评分下降。曲面呈现先升后降的抛物线趋势, 呼应回归模型中 A^2 、 D^2 的极显著性($P<0.01$), 说明两者存在明确最优添加阈值。当 A 和 D 同时增加(如 A>25%、D>0.055%), 曲面快速下降, 直观体现 AD 交互项的显著负向效应($P=0.0221$)。等高线红色区域呈“狭长椭圆形”, 表明 A 和 D 需严格按照比例调整。等高线绿色边缘区域密集, 表明超出阈值后评分急剧下降。若需提高咖啡果皮风味, 需同步减少柠檬酸添加量。模型预测咖啡果皮汁添加量的最优值为 28.381%、柠檬酸添加量为 0.049%。

如图 8 所示, BC 交互曲面中, 曲面呈“山脊状”, 峰值区域沿对角线延伸, 表明 B 与 C 需协同调整。左下角

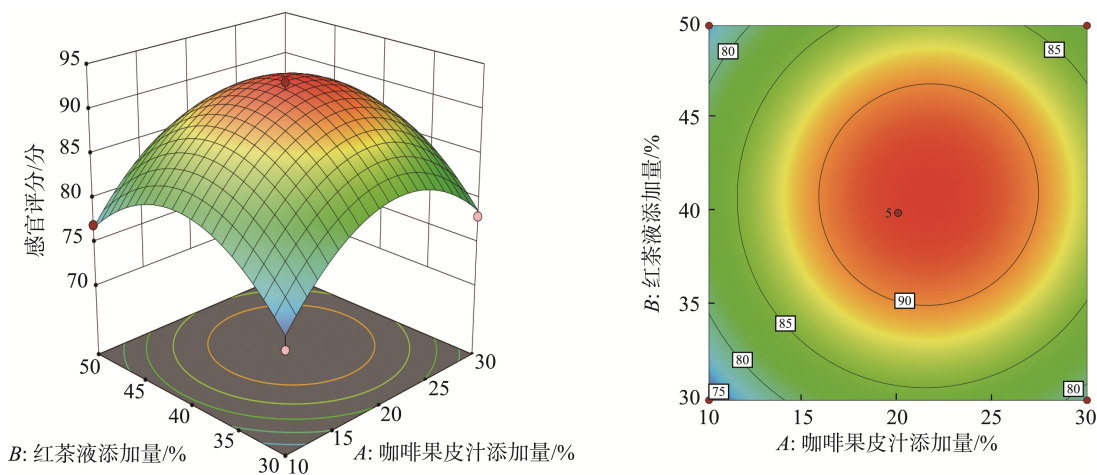


图 5 咖啡果皮汁和红茶液添加量对感官评分的响应曲面图和等高线图

Fig.5 Response surface graph and contour plot of the influence of interaction between coffee peel juice and black tea addition

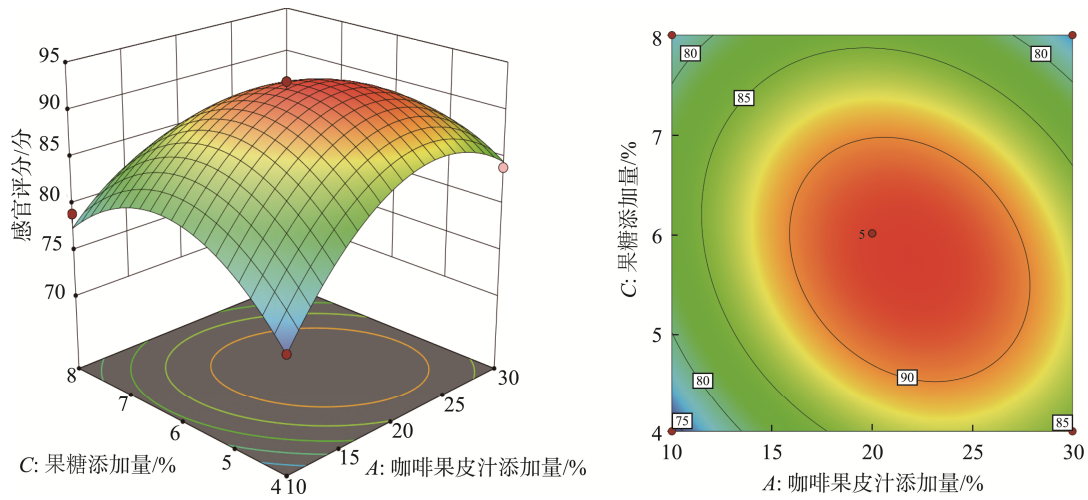


图 6 咖啡果皮汁与果糖添加量对感官评分的响应曲面图和等高线图

Fig.6 Response surface graph and contour plot of the influence of interaction between coffee peel juice and fructose addition

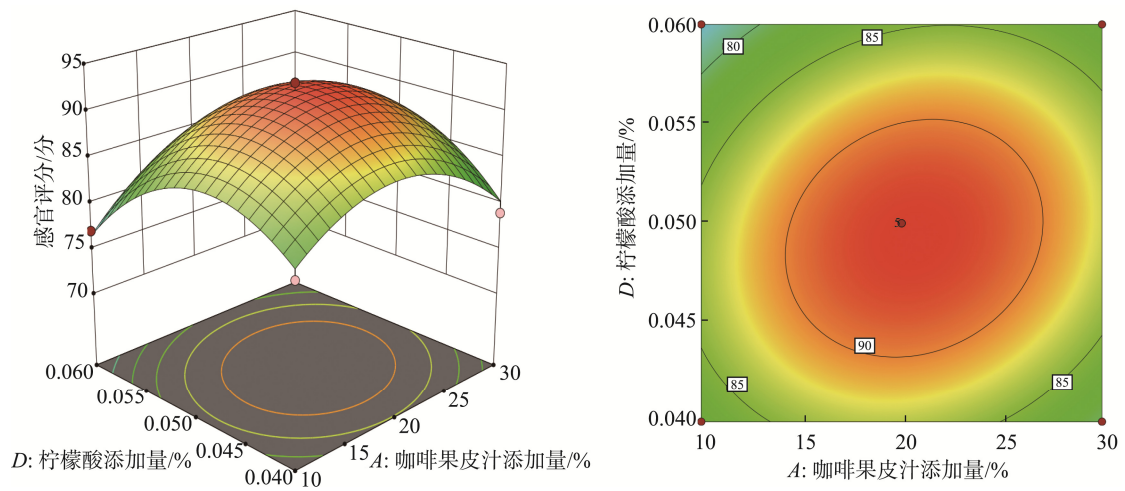


图 7 咖啡果皮汁与柠檬酸添加量对感官评分的响应曲面图和等高线图

Fig.7 Response surface graph and contour plot of the influence of interaction between coffee peel juice and citric acid addition

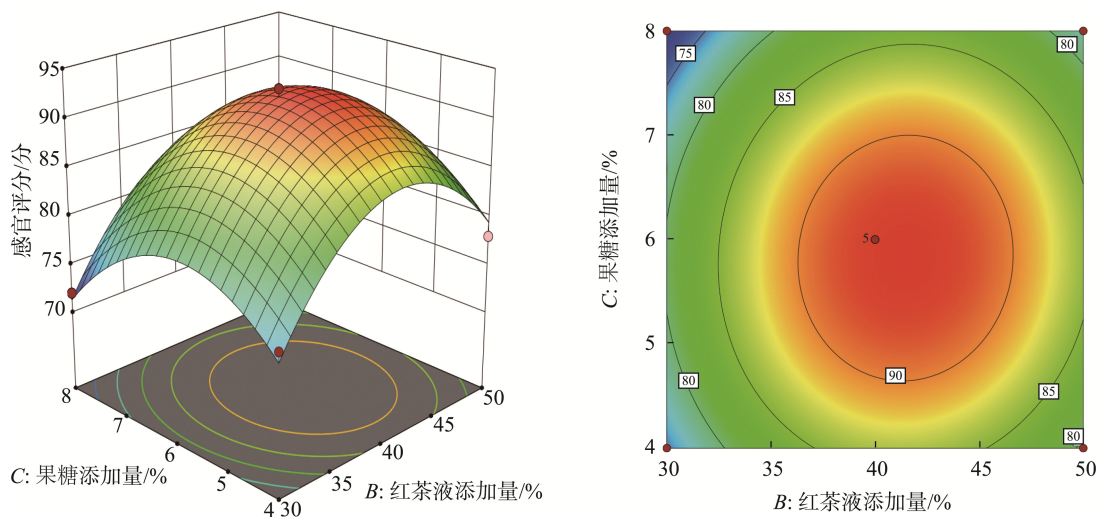


图 8 红茶液和果糖添加量对感官评分的响应曲面图和等高线图

Fig.8 Response surface graph and contour plot of the influence of interaction between black tea and fructose addition

($B=30\%$ 、 $C=8\%$), 评分 75 分, 红茶液不足导致茶香寡淡, 果糖过量引发甜腻。右上角($B=50\%$ 、 $C=4\%$), 评分 80 分, 红茶液过量稀释果糖甜味, 风味失衡。等高线红色区域呈“椭圆形”, 长轴沿 B 方向延伸, 表明 B 的调整范围比 C 更宽容。等值线呈对称放射状, 无显著倾斜, 与回归模型中 BC 交互项不显著($P=0.4742$)一致, 表明 B 与 C 无强协同或拮抗效应。模型预测极值 $B=41.042\%$ 、 $C=5.399\%$ 。

如图 9 所示, BD 交互曲面中, 曲面呈“山峰状”, 峰值区域集中于中央, 表明 B 与 D 均需控制在适中范围。左下角($B=30\%$ 、 $D=0.06\%$), 评分 70 分, 红茶液不足导致茶香缺失, 柠檬酸过量引发尖锐酸味。右上角($B=50\%$ 、 $D=0.04\%$), 评分 80 分, 红茶液过量稀释柠檬酸, 酸味不足导致甜腻失衡。曲面呈现先升后降趋势, 验证回归模型中 B^2 、 D^2 的极显著性($P<0.01$), 两者均存在明确最优阈值。等高线同心圆呈对称放射状, 表明 B 与 D 的交互作用不显著, 与回归模型中 BD 交互项 $P=0.2886$ 一致。等高线无倾斜, 说明 B 与 D 对评分的影响独立, 调整时

无需严格协同比例。模型预测极值 $B=41.042\%$ 、 $D=0.049\%$ 。

如图 10 所示, CD 交互曲面中, 曲面呈“山峰状”, 验证回归模型中 C^2 、 D^2 的极显著性($P<0.01$), 两者均存在最优添加阈值。曲面顶部 3 个红色标记点显示最优组合范围, 验证了甜酸平衡的黄金配比。等高线椭圆长轴沿 C 方向延伸, 表明果糖调整宽容度高于柠檬酸。

2.2.4 验证实验结果

根据回归方程模型, 以感官评分最大值为优化目标, 得到预测的最优参数为: 咖啡果皮汁添加量为 28.381%、红茶液添加量为 41.042%、果糖添加量为 5.399%、柠檬酸添加量为 0.049%, 根据实验实际条件, 将条件修正为: 咖啡果皮汁添加量为 28%、红茶液添加量为 40%、果糖添加量为 5%、柠檬酸添加量为 0.05%, 与预测值总感官评分相差在 5% 范围内, 证实了预测值和实验值之间的良好相关性, 说明用响应面法优化得到的最佳加工工艺是合理的。

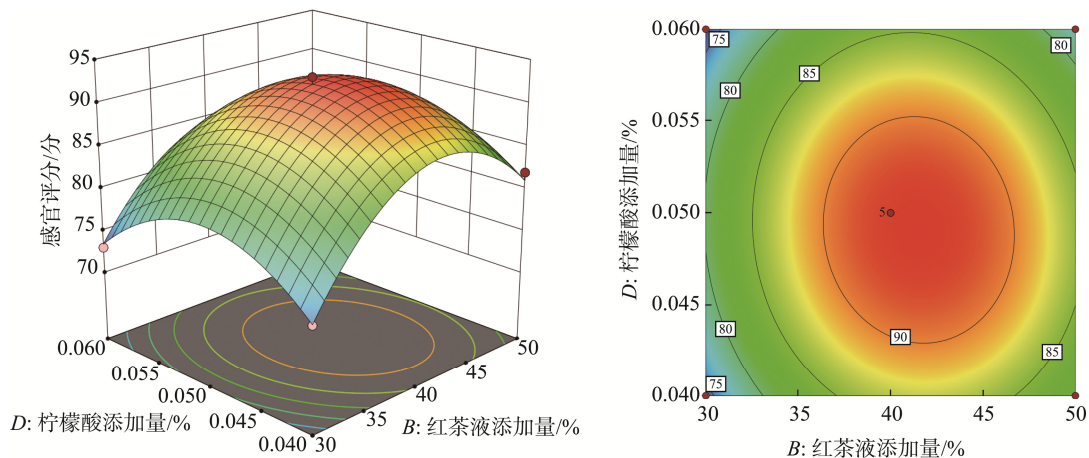


图 9 红茶液和柠檬酸添加量对感官评分的响应曲面图和等高线图

Fig.9 Response surface graph and contour plot of the influence of interaction between black tea addition and citric acid addition

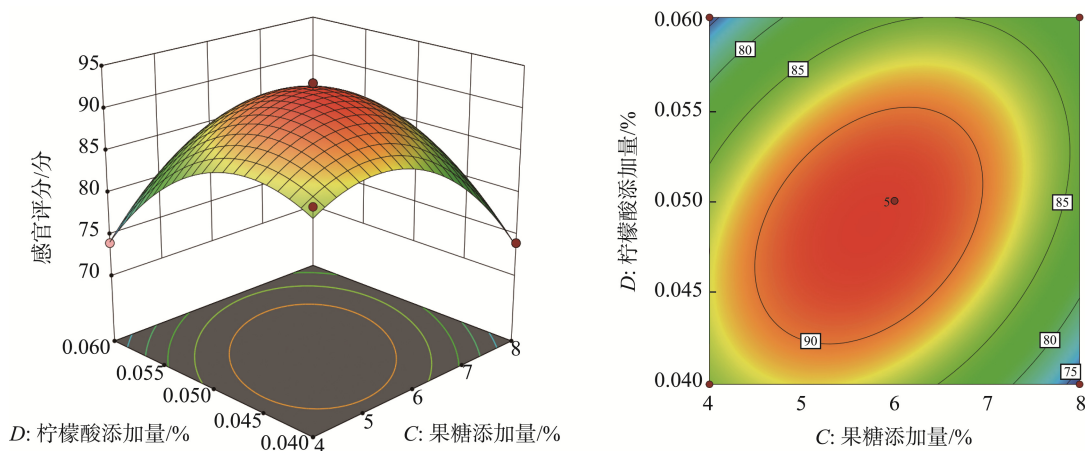


图 10 果糖和柠檬酸添加量对感官评分的响应曲面图和等高线图

Fig.10 Response surface graph and contour plot of the influence of interaction between fructose addition and citric acid addition

2.3 产品的理化指标分析结果

为评价咖啡果皮饮料的品质, 对其理化指标进行检测分析, 分析结果如表 5 所示, 可为咖啡果皮作为功能产品的研发提供依据。

表 5 产品理化指标分析结果
Table 5 Analysis results of product physical and chemical indicators

项目	检测值
蛋白质/%	5.13±0.34
脂肪/%	4.94±0.78
膳食纤维/%	18.43±1.06
灰分/%	1.00±0.01

3 结论

以咖啡果皮汁和红茶液为主要原料, 通过响应面实验设计得到咖啡果皮汁饮料的最佳配方为: 咖啡果皮汁添加量为 28%、红茶液添加量为 40%、果糖添加量为 5%、柠檬酸添加量为 0.05%。此配方得到的产品蛋白质含量(5.13±0.34)%、脂肪含量(4.94±0.78)%、膳食纤维含量(18.43±1.06)%、灰分(1.00±0.01)%。按此工艺加工的咖啡果皮汁饮料香气浓郁、色泽呈深琥珀色、酸甜可口, 具有广阔的市场开发前景。

参考文献

- [1] 舒晓婷. 云南咖啡的精品化“蝶变”之路[N]. 21 世纪经济报道, 2025-05-13(005).
SHU XT. Yunnan coffee's path towards becoming a specialty product [N]. 21st Century Business Herald, 2025-05-13(005).
- [2] 李荣福, 李亚男, 王万东, 等. 云南咖啡产业庄园模式发展的探讨[J]. 农产品加工(学刊), 2013(7): 72-76.
LI RF, LI YN, WANG WD, *et al.* Developing mode of coffee-industry manor in Yunnan Province [J]. Academic Periodical of Farm Products Processing, 2013(7): 72-76.
- [3] 李晓霞, 张吉光, 杨天武, 等. 云南不同海拔小粒种咖啡生长发育情况调查[J]. 云南热作科技, 2002(4): 8-16.
LI XX, ZHANG JG, YANG TW, *et al.* Investigation of coffee growth at different altitudes in Yunnan [J]. Journal of Yunnan Tropical Crops Science & Technology, 2002(4): 8-16.
- [4] 李晓娇, 付文相, 杨丽华, 等. 云南小粒咖啡果皮中果胶的提取及其水解物抑菌活性研究[J]. 食品工业科技, 2020, 41(11): 79-84.
LI XJ, FU WX, YANG LH, *et al.* Study on extraction of pectin from *cofea arabica* pericarp and antibacterial activity of its hydrolysate [J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(11): 79-84.
- [5] 李涛. 档案里的云南咖啡产业发展壮大历程[J]. 云南档案, 2025(1): 17-21.
LI T. The process of the development and growth of Yunnan's coffee industry as documented in the archives [J]. Yunnan Archives, 2025(1): 17-21.
- [6] 李旖秋, 沈梅. 云南小粒咖啡发展现状及对策研究[J]. 南方农机, 2021, 52(15): 42-43, 46.
LI QQ, SHEN M. Research on the current development status and countermeasures of Yunnan small-grain coffee [J]. Forum of South China, 2021, 52(15): 42-43, 46.
- [7] 刘光宪, 陈妍玲, 柴梦. 云南小粒咖啡的市场分析与销售对策探析[J]. 山西农经, 2022(15): 93-95.
LIU GX, CHEN YL, CHAI M. Market analysis and sales strategy exploration of Yunnan small-grain coffee [J]. Shanxi Agricultural Economy, 2022(15): 93-95.
- [8] 王国莉, 黄齐林, 严亚铃, 等. 咖啡壳中咖啡因的提取工艺及其抗氧化活性研究[J]. 现代农业科技, 2023(13): 201-205.
WANG GL, HUANG QL, YAN YL, *et al.* Study on extraction technology and antioxidant activity of caffeine from coffee husks [J]. Modern Agricultural Science Technology, 2023(13): 201-205.
- [9] 李雪瑞, 刘秀徽, 李宏, 等. 湿法加工关键环节对咖啡品质的影响[J]. 食品与机械, 2023, 39(6): 195-200.
LI XR, LIU XW, LI H, *et al.* Effects of wet processing on coffee quality [J]. Food Machinery, 2023, 39(6): 195-200.
- [10] 赵桐桦, 徐心悦, 罗麟霜, 等. 咖啡湿法发酵中产醇酵母的筛选及产醇条件优化[J]. 食品工业, 2023, 44(7): 44-48.
ZHAO TH, XU XY, LUO LS, *et al.* Screening of ethanol-producing yeast in coffee degumming and optimization of ethanol-producing conditions [J]. The Food Industry, 2023, 44(7): 44-48.
- [11] 匡钰, 肖兵, 张洪波, 等. 云南咖啡初加工废弃物利用及排放情况调查[J]. 中国热带农业, 2018(5): 31-36.
KUANG Y, XIAO B, ZHANG HB, *et al.* Investigation on the utilization and discharge of waste generated from the primary processing of Yunnan coffee [J]. China Tropical Agriculture, 2018(5): 31-36.
- [12] 陈旋, 张航, 吴丹, 等. 咖啡果皮发酵制备乙醇工艺研究[J]. 农业技术与装备, 2021(6): 5-6, 8.
CHEN X, ZHANG H, WU D, *et al.* Study on the production of ethanol by fermentation of coffee peel [J]. Agricultural Technology & Equipment, 2021(6): 5-6, 8.
- [13] 李雄. 咖啡果皮水溶性膳食纤维的制备及特性研究[D]. 海口: 海南大学, 2018.
LI X. Preparation and characteristics of water-soluble dietary fiber from coffee peel [D]. Haikou: Hainan University, 2018.
- [14] 王丹丹, 董文江, 赵建平, 等. 剪切乳化辅助酶法提取咖啡果皮可溶性膳食纤维[J]. 热带作物学报, 2019, 40(3): 567-575.
WANG DD, DONG WJ, ZHAO JP, *et al.* Extraction of SDF from coffee peel by shearing emulsification assisted enzymatic hydrolysis [J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2019, 40(3): 567-575.
- [15] 徐紫琪, 王道滇, 李学玲. 咖啡果皮色素的提取及体外抗氧化活性研究[J]. 中国食品添加剂, 2024, 35(9): 18-24.
XU ZQ, WANG DD, LI XL. Optimization of extraction of pigment from coffee peel and its antioxidant activity *in vitro* [J]. China Food Additives, 2024, 35(9): 18-24.
- [16] 赵青云, 普浩杰, 王秋晶, 等. 咖啡果皮不同堆沤处理养分含量及其对咖啡植株生长的影响[J]. 热带作物学报, 2020, 41(4): 633-639.
ZHAO QY, PU HJ, WANG QJ, *et al.* Nutrient content of coffee peel with different composting treatments and its effects on coffee plant growth [J].

- Chinese Journal of Tropical Crops, 2020, 41(4): 633–639.
- [17] 郎心茹. 咖啡果皮果胶的制备及结构特性研究[D]. 长春: 吉林农业大学, 2022.
- LANG XR. Preparation and structural characterization of coffee pulp pectin [D]. Changchun: Jilin Agricultural University, 2022.
- [18] 张云鹤, 付晓萍, 梁文娟, 等. 云南小粒种咖啡果皮粗提物花青素成分及抗氧化活性研究[J]. 食品科技, 2016, 41(5): 219–223.
- ZHANG YH, FU XP, LIANG WJ, *et al.* Antioxidant activity and compisition of anthocyanins of crude extracts from Yunnan arabica coffee husk [J]. Food Science and Technology, 2016, 41(5): 219–223.
- [19] 胡荣锁, 董文江, 宗迎, 等. 5个产区咖啡果皮成分分析与营养评价[J]. 热带作物学报, 2018, 39(5): 987–992.
- HU RS, DONG WJ, ZONG Y, *et al.* Analysis and evaluation of nutritional components of coffee peel from 5 kinds of different growing regions [J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2018, 39(5): 987–992.
- [20] 林丹, 速晓娟, 陈范涛, 等. 响应面法优化乌龙茶碳酸饮料配方[J]. 食品安全质量检测学报, 2024, 15(22): 147–154.
- LIN D, SU XJ, CHEN FT, *et al.* Study on response surface optimization of formula for Oolong tea carbonated beverage [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2024, 15(22): 147–154.
- [21] 伯年国, 王藤, 刘琨毅, 等. 响应面法优化低糖滇红茶配方的研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2024, 15(11): 9–17.
- BAI NG, WANG T, LIU KY, *et al.* Optimizing the formula for low-sugar milk tea using Yunnan black tea through response surface analysis [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2024, 15(11): 9–17.
- [22] 封亚星, 王少锋, 李永新, 等. 响应面法优化鸡肉鳕鱼蔬菜饼配方研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2025, 16(3): 309–316.
- FENG YX, WANG SF, LI YX, *et al.* Optimization of the formulation for chicken cod and vegetable patties by response surface analysis [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2025, 16(3): 309–316.
- [23] 徐广新, 杨仁琴, 周炜, 等. 响应面法优化桂花酒酿酸奶制备工艺[J]. 食品安全质量检测学报, 2024, 15(23): 145–151.
- XU GX, YANG RQ, ZHOU W, *et al.* Optimization of preparation process of osmanthus yoghurt with fermented glutinous rice by response surface methodology [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2024, 15(23): 145–151.
- [24] 苏适, 董立强, 黎莉, 等. 响应面法结合深度神经网络优化刺五加果多糖提取工艺[J]. 包装与食品机械, 2025, 43(2): 66–74.
- SU S, DONG LQ, LI L, *et al.* Optimization of polysaccharide extraction from *Acanthopanax senticosus* fruits using response surface methodology and deep neural network [J]. Packaging and Food Machinery, 2025, 43(2): 66–74.
- [25] 杨娇, 张子羽. 优化莲藕酸奶制作工艺的响应面法研究[J]. 中国乳业, 2025(4): 110–117.
- YANG J, ZHANG ZY. Study on response surface method to optimize the production process of lotus root yogurt [J]. China Dairy, 2025(4): 110–117.
- [26] 王雪宁, 蒋东京, 盖雅楠, 等. 基于响应面法结合多指标优选中药代茶饮冲泡工艺[J]. 人参研究, 2025, 37(2): 70–74.
- WANG XN, JIANG DJ, GAI YN, *et al.* Based on the response surface method combined with multiple indicators, the brewing process of Chinese herbal tea was optimized [J]. Ginseng Research, 2025, 37(2): 70–74.
- [27] 陈剑成, 卢绍基, 郭志煌, 等. 模糊感官评定与响应面法结合优化铁皮石斛原浆饮品配方[J]. 安徽农业科学, 2025, 53(2): 187–191.
- CHEN JC, LU SJ, GUO ZH, *et al.* Formulation optimization of *Dendrobium officinale* by fuzzy sensory evaluation method and response surface methodology [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2025, 53(2): 187–191.
- [28] 樊丹敏. 玛咖保健饮料的研制[J]. 饮料工业, 2016, 19(3): 26–29.
- FAN DM. Development of Maca health beverage [J]. Beverage Industry, 2016, 19(3): 26–29.
- [29] 孟秀梅, 李明华, 张兰, 等. 响应面优化雪莲果银耳饮料配方的研究[J]. 食品工业, 2016, 37(5): 141–144.
- MENG XM, LI MH, ZHANG L, *et al.* Development of Yacon and Tremella beverage [J]. The Food Industry, 2016, 37(5): 141–144.
- [30] 马紫朝, 刘伯渠, 卢新生. 响应面法优化松树锯末活性炭的制备工艺[J]. 山西化工, 2024, 44(11): 4–7, 13.
- MA ZC, LIU BQ, LU XS. Preparation process of pine sawdust activated carbon using response surface methodology [J]. Shanxi Chemical Industry, 2024, 44(11): 4–7, 13.
- [31] 吴菲尔. 星点设计-响应面法优化人参硒多糖的制备工艺[J]. 化学工程师, 2024, 38(6): 90–95, 54.
- WU FER. Optimization of preparation technology of ginseng selenium polysaccharide by star-point design-response surface methodology [J]. Chemical Engineer, 2024, 38(6): 90–95, 54.

(责任编辑: 于梦娇 安香玉)