

五味子沙棘复合饮料的研制 及抗氧化活性评价

崔梦冉,王延艳,常学东*

(河北科技师范学院 食品科技学院暨葡萄酒学院,河北 秦皇岛 066000)

摘要:以干五味子、鲜沙棘为主要原料,辅以甜菊糖苷和柠檬酸制备复合饮料,以感官评分为指标,通过单因素试验和响应面试验确定最佳配方;以稳定性为指标,通过单因素试验和正交试验研究黄原胶添加量、羧甲基纤维素钠添加量、海藻酸钠添加量对复合饮料稳定性的影响。测定在最佳条件下制得饮料的关键功能性成分并对其抗氧化活性进行评价。结果表明:复合饮料的最佳配方为五味子浸提汁添加量 28%、沙棘清原汁添加量 6.3%、甜菊糖苷添加量 15.1%、柠檬酸添加量 0.05%,此条件下感官评分为 95.7。稳定剂的最佳复配方案:黄原胶添加量 0.04%、羧甲基纤维素钠添加量 0.02%、海藻酸钠添加量 0.03%,此条件下稳定性可达 77.85%。测得复合饮料总酚含量为 (36.28 ± 0.03) mg/L、总黄酮含量为 (28.37 ± 0.15) mg/L、抗坏血酸含量为 (31.05 ± 0.08) mg/L。饮料对 DPPH 自由基、羟自由基和 ABTS⁺ 自由基的清除率分别为 $(92.53 \pm 0.26)\%$ 、 $(76.18 \pm 0.19)\%$ 和 $(88.07 \pm 0.37)\%$,表明其抗氧化活性良好。复合饮料色泽纯正,口感细腻,无沉淀和分层现象,具有五味子、沙棘独特香气。

关键词:五味子;沙棘;复合饮料;配方;稳定性;抗氧化活性

Preparation of *Schisandra chinensis* and *Hippophae rhamnoides* Compound Beverage and Its Antioxidant Activity Evaluation

CUI Mengran, WANG Yanyan, CHANG Xuedong*

(College of Food Technology and College of Wine, Hebei Normal University of Science and Technology,
Qinhuangdao 066000, Hebei, China)

Abstract: A compound beverage was prepared with dried *Schisandra chinensis* and fresh *Hippophae rhamnoides* as the main raw materials, with stevioside and citric acid as auxiliary materials, and the optimal formula was determined through single factor experiments and response surface experiments with sensory evaluation scores as an index. With stability as an index, the effects of the additive amount of xanthan gum, sodium carboxymethyl cellulose, and sodium alginate on the stability of the compound beverage were studied through single factor experiments and orthogonal experiments. The key functional components of the beverage prepared under the optimal conditions were determined, and its antioxidant activity was evaluated. The results showed that the optimal formula of the compound beverage was as follows: 28% of extracted *Schisandra chinensis* juice through soaking, 6.3% of raw *Hippophae rhamnoides* juice, 15.1% of stevioside and 0.05% of citric acid. Under this condition, the sensory evaluation scored 95.7 points. The optimal compounding scheme of stabilizer was: 0.04% of xanthan gum, 0.02% of sodium carboxymethyl cellulose, and 0.03% of sodium alginate. Under this condition, the stability was able to reach 77.85%. The content of total phenols, total flavonoids, and ascorbic acid in the compound beverage was (36.28 ± 0.03) mg/L, (28.37 ± 0.15) mg/L, and (31.05 ± 0.08) mg/L respectively. The scavenging rates of DPPH free radical, hydroxyl free radical, and ABTS⁺ free radical were $(92.53 \pm 0.26)\%$, $(76.18 \pm 0.19)\%$, and $(88.07 \pm 0.37)\%$ respectively, indicating great antioxidant activity. The compound beverage had a pure color, delicate taste, no sedimentary or layering phenomenon, and a unique aroma of *Schisandra chinensis* and *Hippophae rhamnoides*.

Key words: *Schisandra chinensis*; *Hippophae rhamnoides*; compound beverage; formula; stability; antioxidant activity

基金项目:河北省科技厅重点研发项目

作者简介:崔梦冉(1999—),女(汉),在读硕士研究生,研究方向:功能食品开发及应用。

*通信作者:常学东(1967—),男(汉),教授,研究方向:果品蔬菜深加工工程及资源开发。

引文格式:

崔梦冉,王延艳,常学东.五味子沙棘复合饮料的研制及抗氧化活性评价[J].食品研究与开发,2025,46(2):144-153.

CUI Mengran, WANG Yanyan, CHANG Xuedong. Preparation of *Schisandra chinensis* and *Hippophae rhamnoides* Compound Beverage and Its Antioxidant Activity Evaluation[J]. Food Research and Development, 2025, 46(2): 144-153.

五味子(*Schisandra chinensis* (Turcz.) Baill.),又名玄及、会及、五梅子、山花椒等,为木兰科五味子属多年生落叶木质藤本植物,因其果实同时具有酸、咸、苦、辛、甘五味而得名,于2002年收录在《可用于保健食品的物品名单》中。五味子果实营养丰富,不仅富含多种维生素、氨基酸、矿物质,还含有多糖、黄酮类、有机酸等多种生物活性物质,有着极高的药用和营养价值。研究证明,五味子具有降酶保肝、抗病毒、抗疲劳、调节神经、促进代谢和调节血压等多种生理作用^[1-3]。

沙棘(*Hippophae rhamnoides* L.),又名醋柳、黄酸刺、酸刺柳、黑刺等,属胡颓子科沙棘属的一类多年生落叶灌木或小乔木^[4],是一种利用价值极高的药食同源植物。沙棘的各个部位均可入药,尤其是它的果实含有丰富的生物活性成分和营养成分,维生素C含量更是高出猕猴桃2~4倍,因而有着“维生素C之王”的美誉^[5]。研究表明,沙棘具有缓解疲劳、健脾消食、活血化淤、抗肿瘤、抗衰老、降血糖等功效^[6]。在医药、保健、食品和化妆品等领域都具有十分广阔的发展前景。

目前,在五味子和沙棘饮料的加工利用方面,已研制出了诸如五味子茶叶复合饮料^[7]、枳椇子五味子复合饮料^[8]、五味子葛根复合饮料^[9]、欧李山楂沙棘复合饮料^[10]和沙棘蓝莓复合饮料^[11]等,但关于五味子沙棘复合饮料的研究还未见报道。因此,本研究以五味子

和沙棘为主要原料开发一款复合植物保健饮料,以期五味子、沙棘保健食品的开发提供新思路。

1 材料与方法

1.1 试验材料

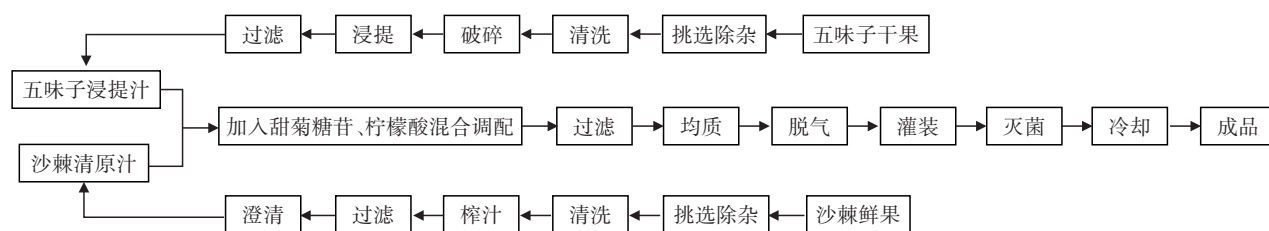
五味子干果、沙棘鲜果:市售;甜菊糖苷、柠檬酸、黄原胶、羧甲基纤维素钠(sodium carboxymethyl cellulose, CMC)、海藻酸钠(食品级):郑州苍宇化工产品有限公司。

1.2 主要仪器

电子天平(BSA224S-CW):德国赛多利斯集团;高速多功能粉碎机(4500Y):永康市铂欧五金制品有限公司;榨汁机(JS42D):浙江苏泊尔股份有限公司;电热恒温水浴锅(HH.S21-6):上海博迅医疗生物仪器股份有限公司;高速分散均质机(IKA T18):德国IKA集团;高速离心机(TG16-WS):湖南湘仪实验室仪器开发有限公司;pH计(S210-S):瑞士梅特勒-托利多集团;生化培养箱(HWS-250F):上海丙林电子科技有限公司;手持折光仪(WZS-32):上海仪电物理光学仪器有限公司;紫外可见分光光度计(UV-6100):上海元析仪器有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 工艺流程



1.3.2 操作工艺要点

1)原料预处理:五味子干果用高速粉碎机粉碎后过60目筛备用。

2)浸提与取汁:参照姚艳红等^[12]的方法并加以改进,将破碎后的五味子干果按1:50(g/mL)加水,25℃浸泡30min,100℃恒温浸提60min,用4层纱布进行过滤,残渣加水250mL,100℃恒温浸提60min,用4层纱布过滤,合并两次过滤的五味子浸提汁。称取适量新鲜沙棘,清洗后榨取原汁。将过滤后的沙棘原汁用高速离心机以4000r/min的转速离心10min做澄清处理,撇掉上清液面的油脂得到沙棘清原汁^[13]。

3)调配:将上述五味子浸提汁、沙棘清原汁按一定

比例混合,并加入一定量的甜菊糖苷、柠檬酸,充分搅拌至完全溶解。

4)均质与脱气:将制备好的饮料在60℃,20MPa的条件下均质10min后脱气10min。

5)灌装与灭菌:将饮料灌装于瓶内,135℃超高温瞬时灭菌30s^[14]。

1.3.3 复合饮料配方试验设计

1.3.3.1 单因素试验设计

以感官评分作为评价指标,研究五味子浸提汁添加量(15%、20%、25%、30%、35%)、沙棘清原汁添加量(2%、4%、6%、8%、10%)、甜菊糖苷添加量(5%、10%、15%、20%、25%)、柠檬酸添加量(0.02%、0.03%、

0.04%、0.05%、0.06%)对感官评分的影响,从而确定复合饮料的最优配方。

1.3.3.2 响应面试验设计

依据单因素试验的结果,基于 Box-Behnken 中心组合设计原理,进行四因素三水平的响应面试验设计。响应因素设定:五味子浸提汁添加量(A)、沙棘清原汁添加量(B)、甜菊糖苷添加量(C)和柠檬酸添加量(D),响应值设定为感官评分。因素及水平见表 1。

表 1 响应面因素水平

Table 1 Factors and levels of response surface

水平	因素			
	A 五味子浸提汁添加量/%	B 沙棘清原汁添加量/%	C 甜菊糖苷添加量/%	D 柠檬酸添加量/%
-1	25	4	10	0.04
0	30	6	15	0.05
1	35	8	20	0.06

1.3.4 稳定剂试验设计

1.3.4.1 单因素试验设计

通过文献检索和预试验筛选得到五味子沙棘复合饮料稳定剂的基本配方为黄原胶 0.03%、羧甲基纤维素钠 0.02%、海藻酸钠 0.04%。在此基础上以稳定性(R)为指标进行单因素试验,考察不同比例稳定剂对五味子沙棘复合饮料稳定性的影响。其中,黄原胶添加量为 0.01%、0.02%、0.03%、0.04%、0.05%,羧甲基纤维素钠添加量为 0.01%、0.02%、0.03%、0.04%、0.05%,海藻酸钠添加量为 0.02%、0.03%、0.04%、0.05%、0.06%。

1.3.4.2 正交试验设计

由于单一稳定剂很难使产品长时间保持稳定悬浮和均匀的状态,从而影响其风味、色泽等各个方面,且许多研究表明复合稳定剂对饮料稳定性的效果要显著优于单一稳定剂,因此,将上述 3 种稳定剂进行复配,在单因素试验的基础上设计三因素三水平正交试验,因素及水平见表 2。

表 2 正交试验设计

Table 2 Orthogonal experiment design

水平	因素		
	E 黄原胶添加量/%	F 羧甲基纤维素钠添加量/%	G 海藻酸钠添加量/%
1	0.02	0.01	0.03
2	0.03	0.02	0.04
3	0.04	0.03	0.05

1.3.5 复合饮料品质评价

1.3.5.1 感官评定

评分标准参照 GB 7101—2022《食品安全国家标准 饮料》,选择 10 名具有感官评定经验的食物领域内的专业人士组成专门的评估小组,对五味子沙棘复合饮料的色泽、气味、滋味口感和组织状态进行评分,取平

均值为最终结果,满分为 100。感官评定标准见表 3^[15]。

表 3 感官评定标准

Table 3 Sensory evaluation criteria

项目	评分标准	评分
色泽(20 分)	色泽不均匀或褐变严重	0~<10
	色泽较均匀	10~<15
	粉红色,色泽纯正均匀	15~20
气味(30 分)	香气平淡或无香气	0~<20
	单一原料的香气	20~<25
	香气协调,有五味子、沙棘特有香气	25~30
滋味口感(30 分)	有不良口感,苦涩味或异味重	0~<20
	滋味一般,有苦涩味	20~<25
	口感协调,酸甜适度,无异味	25~30
组织状态(20 分)	饮料分层和沉淀现象较为严重	0~<10
	饮料有少许分层和沉淀现象	10~<15
	饮料组织分布均匀,无分层和沉淀现象	15~20

1.3.5.2 稳定性的测定

参考翟培等^[16]的方法并加以修改,取五味子沙棘复合饮料 10 mL 于离心管中,5 000 r/min 离心 10 min,在 660 nm 处测定其离心前后的吸光值,以蒸馏水作空白,按下式计算稳定性(R,%),R 越大表明饮料稳定性越好。

$$R = \frac{A_1}{A_0} \times 100$$

式中: A_0 为离心前样品吸光度; A_1 为离心后样品吸光度。

1.3.5.3 理化指标和关键功能性成分的测定

pH 值采用 pH 计测量;可溶性固形物含量测定参照 GB/T 12143—2008《饮料通用分析方法》;总酸含量测定参照 GB 12456—2021《食品安全国家标准 食品中总酸的测定》;总糖含量测定采用苯酚-硫酸法测定;抗坏血酸含量测定参照 GB 5009.86—2016《食品安全国家标准 食品中抗坏血酸的测定》;总酚含量采用福林酚比色法测定^[17];总黄酮含量采用硝酸铝显色法测定^[18]。

1.3.5.4 微生物指标的测定

菌落总数测定参照 GB 4789.2—2022《食品安全国家标准 食品微生物学检验 菌落总数测定》;大肠菌群测定参照 GB/T 4789.3—2016《食品安全国家标准 食品微生物学检验 大肠菌群计数》;致病菌测定参照 GB/T 4789.21—2003《食品卫生微生物学检验 冷冻食品、饮料检验》。

1.3.6 复合饮料抗氧化活性评价

量取 2 mL 最优配方制得的五味子沙棘复合饮料,参考李尽哲等^[19]的方法测定复合饮料对 DPPH 自由基的清除率,参考葛永辉等^[20]的方法测定复合饮料对羟自由基的清除率,参考陈怡飞等^[21]的方法测定复合饮料对 ABTS⁺自由基的清除率,并以此评价复合饮料的抗氧化活性,分别以 V_c 为阳性对照品。以上试验均重

复3次后取平均值。

1.4 数据处理

运用 Microsoft Excel 2016、Design - Expert 13 和 Origin 2018 进行数据分析处理和图表绘制。

2 结果与分析

2.1 复合饮料配方的确定

2.1.1 单因素试验结果

2.1.1.1 五味子浸提汁添加量对感官品质的影响

五味子浸提汁添加量对复合饮料感官品质的影响见图1。

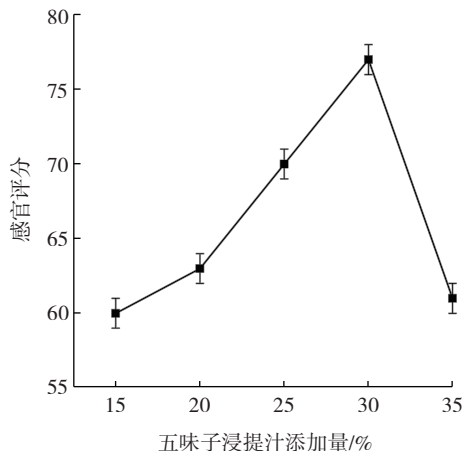


图1 五味子浸提汁添加量对复合饮料感官品质的影响

Fig.1 Effect of additive amount of extracted *Schisandra chinensis* juice through soaking on sensory quality of compound beverage

由图1可知,当五味子浸提汁添加量为30%时,感官评分达到峰值77.0。此时产品呈现鲜艳的橘粉色,具有五味子的独特香气。五味子浸提汁添加量过少时,沙棘味浓,掩盖了五味子的独有风味,感官评分不佳,颜色较浅,呈淡黄色;五味子浸提汁添加量过多时,苦涩味重,掩盖了沙棘的风味,颜色较深,呈暗粉色。因此,选择五味子浸提汁的最佳添加量30%为响应面优化试验的中心测试点进行后续试验。

2.1.1.2 沙棘清原汁添加量对感官品质的影响

沙棘清原汁添加量对复合饮料感官品质的影响见图2。

由图2可知,当沙棘清原汁添加量为6%时,感官评分达到峰值81.0。此时产品酸甜适中,具有五味子、沙棘的特有香气。沙棘清原汁添加量过少时,难以起到相应的保健作用,同时沙棘香味较淡,五味子的苦涩味突出,呈淡粉色;沙棘清原汁添加量过多时,沙棘酸涩味突出,呈暗黄色。因此,选择沙棘清原汁的最佳添加量6%为响应面优化试验的中心点进行后续试验。

2.1.1.3 甜菊糖苷添加量对感官品质的影响

甜菊糖苷添加量对复合饮料感官品质的影响见图3。

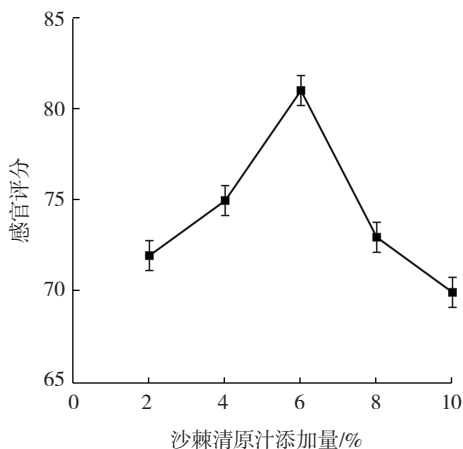


图2 沙棘清原汁添加量对复合饮料感官品质的影响

Fig.2 Effect of additive amount of raw *Hippophae rhamnoides* juice on sensory quality of compound beverage

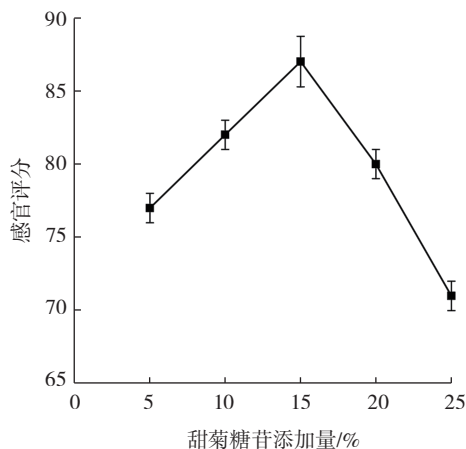


图3 甜菊糖苷添加量对复合饮料感官品质的影响

Fig.3 Effect of additive amount of stevioside on sensory quality of compound beverage

五味子和沙棘果实中富含的多种有机酸赋予其独特的酸味,需要添加一定的甜味剂以调和其酸味。甜菊糖苷作为一种天然甜味剂,具有安全、无热量、不致龋齿等优点^[22]。由图3可知,当甜菊糖苷添加量为15%时,感官评分达到峰值87.0。甜菊糖苷添加量过少时,无法掩盖饮料的酸涩口感;甜菊糖苷添加量过多时,饮料口感则过于甜腻甚至略带苦味。因此,选择甜菊糖苷的最佳添加量15%为响应面优化试验的中心点进行后续试验。

2.1.1.4 柠檬酸添加量对感官品质的影响

柠檬酸添加量对复合饮料感官品质的影响见图4。

柠檬酸常被应用在饮料、果冻和果酱等的生产加工当中,以均匀产品的酸度从而改善口感,同时提高其抗菌防腐能力^[23]。由图4可知,当柠檬酸添加量为0.05%时,感官评分达到峰值90.0。因此,选择柠檬酸的最佳添加量0.05%为响应面优化试验的中心点进行后续试验。

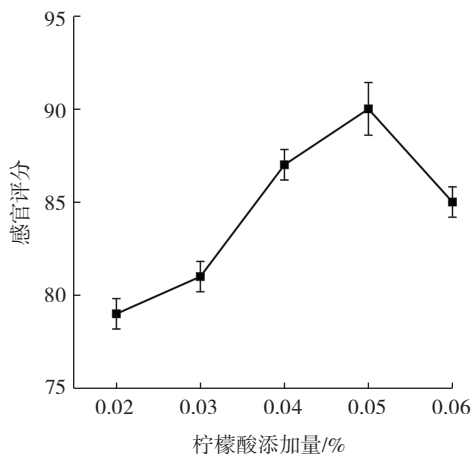


图4 柠檬酸添加量对复合饮料感官品质的影响

Fig.4 Effect of additive amount of citric acid on sensory quality of compound beverage

2.1.2 响应面试验结果

以感官评分(Y)为响应变量,基于单因素试验结果及 Box-Behnken 中心组合设计原理设计的四因素三水平响应面试验方案及结果如表4所示。

表4 响应面试验方案及结果

Table 4 Response surface experimental scheme and results

试验号	A 五味子浸提汁添加量	B 沙棘清原汁添加量	C 甜菊糖苷添加量	D 柠檬酸添加量	感官评分
1	0	1	-1	0	84.9
2	1	0	0	-1	80.3
3	1	0	1	0	76.5
4	1	1	0	0	85.5
5	0	-1	1	0	80.7
6	0	0	1	-1	81.8
7	0	0	0	0	95.2
8	0	0	0	0	93.3
9	-1	0	-1	0	85.7
10	0	0	-1	1	78.3
11	0	-1	-1	0	75.1
12	-1	0	0	1	86.7
13	1	0	-1	0	77.8
14	0	-1	0	-1	77.1
15	0	1	0	-1	87.6
16	1	-1	0	0	73.4
17	1	0	0	1	76.9
18	0	0	0	0	94.3
19	0	0	0	0	92.1
20	0	-1	0	1	82.2
21	0	0	-1	-1	77.8
22	-1	1	0	0	84.4
23	0	0	1	1	76.5
24	0	1	1	0	81.5
25	-1	-1	0	0	85.3
26	-1	0	0	-1	86.2
27	0	0	0	0	93.8
28	0	1	0	1	77.4
29	-1	0	1	0	86.6

2.1.2.1 回归方程及方差分析

运用 Design-Expert13 软件对表4的试验结果进行回归拟合,构建了二次响应面回归模型,所得方程为 $Y=93.74-3.71A+2.29B+0.3333C-1.07D+3.25AB-0.55AC-0.975AD-2.25BC-3.82BD-1.45CD-4.8A^2-6.07B^2-7.56C^2-6.86D^2$ 。

感官评分模型回归方差分析结果如表5所示。

表5 回归模型方差分析

Table 5 Variance analysis of the regression model

方差来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值	显著性
模型	1 073.13	14	76.65	43.32	<0.000 1	**
A	165.02	1	165.02	93.27	<0.000 1	**
B	63.02	1	63.02	35.62	<0.000 1	**
C	1.33	1	1.33	0.753 6	0.400 0	
D	13.65	1	13.65	7.72	0.014 8	*
AB	42.25	1	42.25	23.88	0.000 2	**
AC	1.21	1	1.21	0.683 9	0.422 1	
AD	3.80	1	3.80	2.15	0.164 7	
BC	20.25	1	20.25	11.45	0.004 5	**
BD	58.52	1	58.52	33.08	<0.000 1	**
CD	8.41	1	8.41	4.75	0.046 8	*
A ²	149.40	1	149.40	84.44	<0.000 1	**
B ²	239.32	1	239.32	135.27	<0.000 1	**
C ²	370.89	1	370.89	209.63	<0.000 1	**
D ²	305.40	1	305.40	172.62	<0.000 1	**
残差	24.77	14	1.77			
失拟项	19.44	10	1.94	1.46	0.382 1	不显著
纯误差	5.33	4	1.33			
总和	1 097.90	28				

注:*表示影响显著, $P<0.05$;**表示影响极显著, $P<0.01$ 。

由表5可知,感官评分回归模型 $P<0.01$,达到极显著水平,失拟项 $P=0.382 1>0.05$ 不显著,模型的回归系数 $R^2=0.977 4$,调整决定系数 $R_{Adj}^2=0.954 9$,意味着方程可靠性较高,模型拟合程度好,因此可以使用此模型分析和预测各因素对感官评分的影响。

利用 F 值大小可判断出各因素对感官评分的影响顺序,一次项: $A>B>D>C$;交互项: $BD>AB>BC>CD>AD>AC$;二次项: $C^2>D^2>B^2>A^2$ 。

当显著性检验概率 $P<0.05$ 时,揭示了该变量对响应值影响显著,具有数理统计意义。即一次项 A 、 B ,交互项 AB 、 BC 、 BD ,二次项 A^2 、 B^2 、 C^2 、 D^2 均对感官评分具有极显著影响($P<0.01$),一次项 D ,交互项 CD 均对感官评分具有显著影响($P<0.05$)。

2.1.2.2 交互作用及分析

各因素之间的交互作用对感官评分的影响如图5~图10所示。

由图5可知,随着 A 和 B 的增加,感官评分呈现先增加后降低的趋势,等高线接近椭圆,可看出 A 和 B

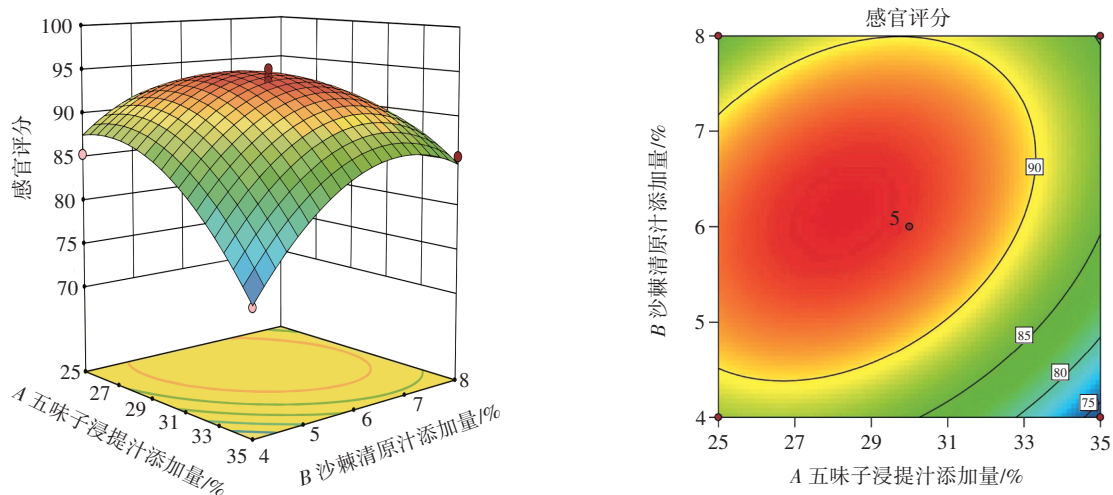


图5 五味子浸提汁添加量与沙棘清原汁添加量之间的交互作用对感官评分的影响

Fig.5 Effect of interaction between additive amount of extracted *Schisandra chinensis* juice through soaking and additive amount of raw *Hippophae rhamnoides* juice on sensory evaluation scores

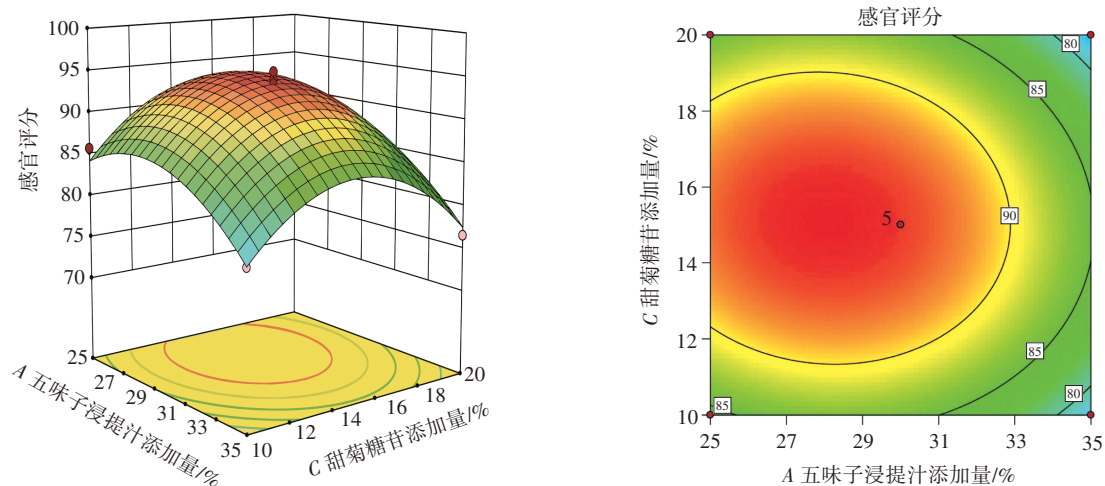


图6 五味子浸提汁添加量与甜菊糖苷添加量之间的交互作用对感官评分的影响

Fig.6 Effect of interaction between additive amount of extracted *Schisandra chinensis* juice through soaking and additive amount of stevioside on sensory evaluation scores

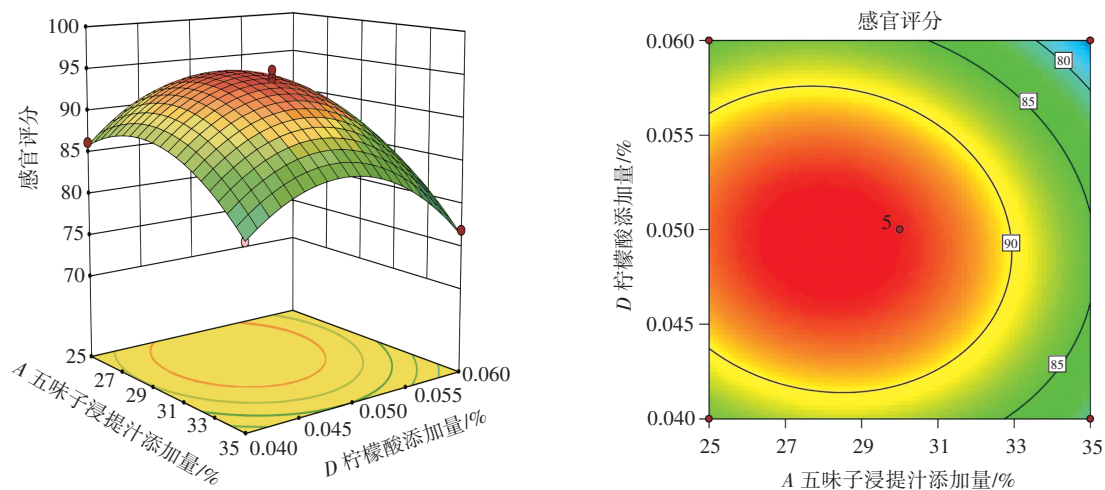


图7 五味子浸提汁添加量与柠檬酸添加量之间的交互作用对感官评分的影响

Fig.7 Effect of the interaction between additive amount of extracted *Schisandra chinensis* juice through soaking and additive amount of citric acid on sensory evaluation scores

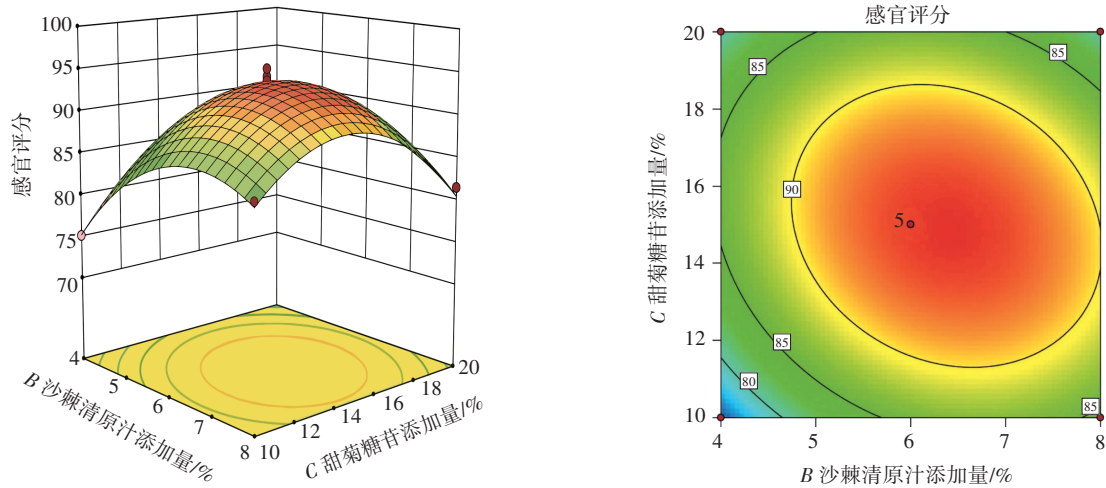


图 8 沙棘清原汁添加量与甜菊糖苷添加量之间的交互作用对感官评分的影响

Fig.8 Effect of interaction between additive amount of raw *Hippophae rhamnoides* juice and additive amount of stevioside on sensory evaluation scores

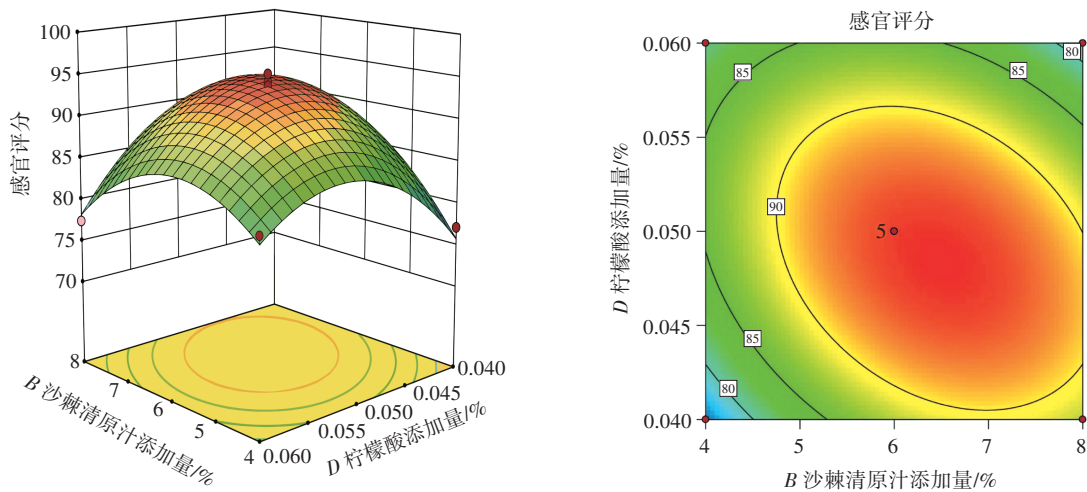


图 9 沙棘清原汁添加量与柠檬酸添加量之间的交互作用对感官评分的影响

Fig.9 Effect of interaction between additive amount of raw *Hippophae rhamnoides* juice and additive amount of citric acid on sensory evaluation scores

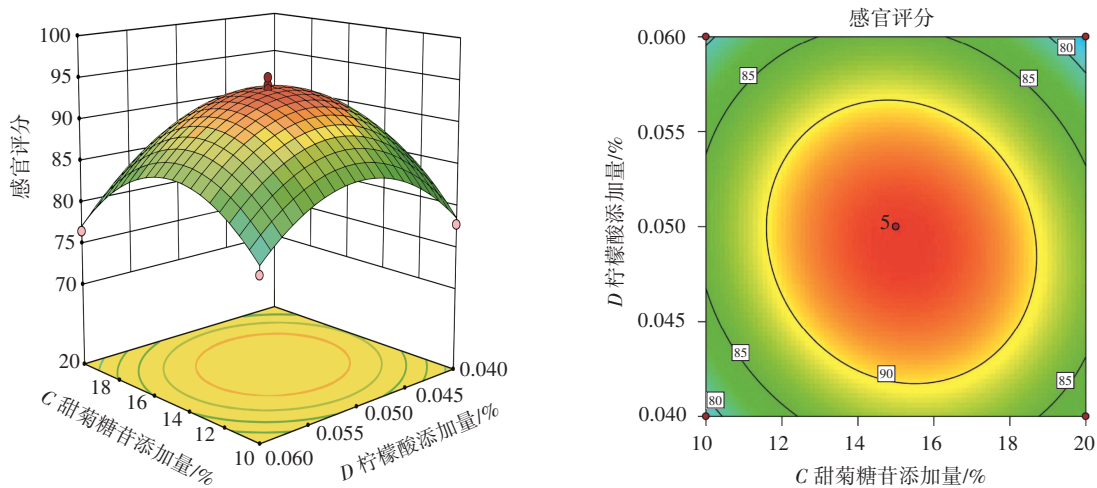


图 10 甜菊糖苷添加量与柠檬酸添加量之间的交互作用对感官评分的影响

Fig.10 Effect of interaction between additive amount of stevioside and additive amount of citric acid on sensory evaluation scores

之间的交互作用较强。

由图6可知,等高线接近圆形,线条稀疏,说明A和C之间交互作用较弱。

由图7可知,等高线接近圆形,线条稀疏,但响应面坡度比AC稍大,说明相较于AC,AD对于感官评分的影响略为显著。

由图8可知,感官评分整体上随着B与C的增加呈现先增加后降低的趋势,感官评分随B变化的坡度比C更大,感官评分随C变化的幅度较小,即B对感官评分的影响更大。等高线偏向椭圆状,说明两者交互作用呈现出较强的水平。

由图9可知,在B与D逐渐增加的情况下,感官评分呈现出了先增加后降低的趋势,此外也可以观察到,感官评分随B变化的坡度要大于D,意味着B对感官评分的影响大于D,等高线接近椭圆状,线条密集,说明两者交互作用较强。

由图10可知,响应面坡度呈现出较陡的特征,在C与D逐渐增加的情况下,感官评分呈现出先增加后降低的趋势,感官评分随D变化的坡度比C更大,这意味着D对感官评分产生的影响要大于C。等高线图接近圆状,说明两者虽然存在着交互作用,但作用较弱。

2.1.2.3 最佳工艺及验证

基于回归方程模型,确定了最佳的预测条件:五味子浸提汁添加量28.31%,沙棘清原汁添加量6.25%,甜菊糖苷添加量15.12%,柠檬酸添加量0.049%,此条件下产品感官评分预测值为94.6分。

将该条件依据实际试验情况修正为五味子浸提汁添加量28%,沙棘清原汁添加量6.3%,甜菊糖苷添加量15.1%,柠檬酸添加量0.05%。在这一最佳条件下进行3次平行试验,得到实际感官评分为95.7,与预测值感官评分比较相差1.1,处在5%偏差范围内,表明模型的预测值与实测值之间拥有较为出色的拟合度。

2.2 稳定剂试验

2.2.1 单因素试验结果

不同稳定剂添加量对复合饮料稳定性的影响见图11。

黄原胶是一种从油菜黄单胞菌中提取的天然多糖,商业上可通过发酵过程获得,在食品工业中常用作稳定剂^[24]。由图11可知,当黄原胶添加量为0.03%、0.04%、0.05%时,稳定性为60%~65%,饮料处于较为稳定的状态,无沉淀和分层。但当黄原胶添加量为0.04%和0.05%时,饮料过于黏稠,口感不够清爽;当添加量为0.03%时,饮料口感细腻,酸甜爽口,所以选择黄原胶添加量0.02%、0.03%、0.04%进行正交试验。羧甲基纤维素钠用作稳定剂,可以有效防止饮料中不溶性的悬浮颗粒发生聚集和沉淀,从而控制产品的质地、黏度、口感等特性^[25]。由图11可知,当羧甲基纤维

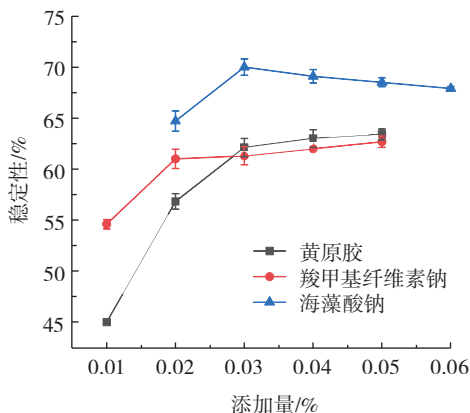


图11 不同稳定剂添加量对复合饮料稳定性的影响

Fig.11 Effect of additive amount of different stabilizer on stability of compound beverage

素钠添加量达到0.02%时,饮料稳定性升高的趋势趋于平缓,饮料组织状态稳定。但当羧甲基纤维素钠添加量超过0.03%时,饮料入口时清爽度下降,黏度上升,所以选择羧甲基纤维素钠添加量0.01%、0.02%、0.03%进行正交试验。海藻酸钠是一种由褐藻制成的生物聚合物,具有增强溶液黏度特性的能力,可有效作用于悬浮食品中的分散物质^[26]。由图11可知,当海藻酸钠添加量为0.03%时,饮料稳定,无分层,但此时饮料涩口不够细腻顺滑;当添加量高于0.03%时,饮料稳定性呈缓慢下降趋势;当添加量为0.04%时,饮料稳定性良好,口感顺滑,这是由于海藻酸钠具有较好的流动性,能够帮助提升饮料的柔滑程度,从而改善其口感^[27];当添加量高于0.05%时,饮料开始有明显腥味,口感不佳,综合考虑选择海藻酸钠添加量0.03%、0.04%、0.05%进行正交试验。

2.2.2 正交试验结果及方差分析

稳定剂复配正交试验结果如表6所示。

表6 稳定剂复配正交试验结果

Table 6 Orthogonal experimental results of stabilizer compound

试验号	E 黄原胶添 加量	F 羧甲基纤维素钠 添加量	G 海藻酸钠 添加量	稳定性/%
1	1	1	1	74.07
2	1	2	3	76.61
3	1	3	2	60.60
4	2	1	3	67.98
5	2	2	2	61.52
6	2	3	1	65.83
7	3	1	2	66.36
8	3	2	1	77.85
9	3	3	3	76.00
K ₁	211.28	208.41	217.75	
K ₂	195.33	215.98	188.48	
K ₃	220.21	202.43	220.59	

续表6 稳定剂复配正交试验结果

Continue table 6 Orthogonal experimental results of stabilizer compound

试验号	E 黄原胶添加量	F 羧甲基纤维素钠添加量	G 海藻酸钠添加量	稳定性/%
k ₁	70.43	69.47	72.58	
k ₂	65.11	71.99	62.83	
k ₃	73.40	67.48	73.53	
R	8.29	4.52	10.70	

由表6可知,各稳定剂对五味子沙棘复合饮料稳定性影响的主次顺序为G>E>F,根据k值得出最佳稳定剂复配组合为E₃F₂G₃。经验证试验,组合E₃F₂G₃的稳定性为77.79%,低于正交表中组合E₃F₂G₁。因此,选择E₃F₂G₁为稳定剂复配的最优组合,即黄原胶0.04%、羧甲基纤维素钠0.02%、海藻酸钠0.03%,此时饮料口感协调,组织细腻,质地均匀,黏度适宜。

饮料稳定剂复配方方差分析见表7。

表8 五味子沙棘复合饮料理化指标和关键功能性成分测定结果

Table 8 Determination results of physical and chemical indexes and key functional components of *Schisandra chinensis* and *Hippophae rhamnoides* compound beverage

总酚含量/(mg/L)	总黄酮含量/(mg/L)	抗坏血酸含量/(mg/L)	pH值	可溶性固形物含量/%	总酸含量/(g/L)	总糖含量/(g/L)
36.28±0.03	28.37±0.15	31.05±0.08	4.18±0.02	9.50±0.07	1.70±0.11	6.80±0.05

2.4 微生物指标

按最佳配方制得的五味子沙棘复合饮料的菌落总数≤100 CFU/mL,大肠菌群和致病菌均未检出。产品符合国家标准,具有可靠的安全性。

2.5 抗氧化活性

五味子沙棘复合饮料抗氧化活性见表9。

表9 五味子沙棘复合饮料抗氧化活性

Table 9 Antioxidant activity of *Schisandra chinensis* and *Hippophae rhamnoides* compound beverage

样品	清除率/%		
	DPPH 自由基	羟自由基	ABTS ⁺ 自由基
复合饮料	92.53±0.26	76.18±0.19	88.07±0.37
V _C	94.78±0.33	80.35±0.22	90.17±0.08

由表9可知,五味子沙棘复合饮料对DPPH 自由基、羟自由基和ABTS⁺自由基的清除率分别为(92.53±0.26)%、(76.18±0.19)%和(88.07±0.37)%,显示出了较出色的抗氧化性能。

3 结论

本研究通过单因素和响应面优化试验,得到五味子沙棘复合饮料的最优配方:五味子浸提汁添加量28%、沙棘清原汁添加量6.3%、甜菊糖苷添加量15.1%、柠檬酸添加量0.05%。通过单因素和正交试验分析,得到稳定剂的最佳复配方案:黄原胶添加量0.04%、羧甲基纤维素钠添加量0.02%、海藻酸钠添加量0.03%。在

表7 稳定剂复配方方差分析

Table 7 Variance analysis of stabilizer compound

方差来源	离差平方和	自由度	均方	F值	P值	显著性
E 黄原胶添加量	105.907	2	52.953	23.813	0.040	*
F 羧甲基纤维素钠添加量	30.741	2	15.370	6.912	0.126	
G 海藻酸钠添加量	210.650	2	105.325	47.365	0.021	*
误差	4.447	2	2.224	1	0.5	

注:*表示影响显著,P<0.05。

由表7可知,黄原胶和海藻酸钠添加量对饮料的稳定性有显著影响,羧甲基纤维素钠添加量对饮料稳定性的影响不显著。

2.3 理化指标和关键功能性成分

对按最佳配方制得的五味子沙棘复合饮料进行检测,其各项理化指标和关键功能性成分的测定结果如表8所示。

此条件下制得的饮料色泽明亮,营养丰富,抗氧化性能优良,具有五味子和沙棘的独特风味,各项指标均符合国家标准,具有可观的应用前景和开发价值。

参考文献:

- [1] 张宝香,秦红艳,张庆田,等.玫瑰茄五味子复合果汁饮料研究[J].特产研究,2015,37(3):30-33.
ZHANG Baoxiang, QIN Hongyan, ZHANG Qingtian, et al. Study on composite juice drink of *Hibiscus sabdariffa* and *Schisandra chinensis*[J]. Special Wild Economic Animal and Plant Research, 2015, 37(3): 30-33.
- [2] 王晓英,刘长姣,段连海.五味子、酸浆、枸杞复合饮料的研制[J].食品科技,2014,39(9):137-140.
WANG Xiaoying, LIU Changjiao, DUAN Lianhai. Development of compound beverage of *Schisandra chinensis*, *Physalis alkekengi* Linn and *Lycium chinensis*[J]. Food Science and Technology, 2014, 39(9): 137-140.
- [3] XU H N, WANG W, SUN Y, et al. A systematic review on triterpenoids from genus *Schisandra*: Botany, traditional use, pharmacology and modern application[J]. Arabian Journal of Chemistry, 2023, 16(10): 105178.
- [4] 刘雅娜,包晓玮,王娟,等.沙棘多糖抗运动性疲劳及抗氧化作用的研究[J].食品工业科技,2021,42(10):321-326.
LIU Yana, BAO Xiaowei, WANG Juan, et al. Anti exercise fatigue and antioxidant of polysaccharide from *Hippophae rhamnoides*[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(10): 321-326.
- [5] 王一鸣,叶虹婷,赵欢,等.沙棘果的应用及现代研究进展[J].黑龙江科学,2022,13(2):22-23,26.
WANG Yiming, YE Hongting, ZHAO Huan, et al. Application of sea-buckthorn fruit and modern research progress[J]. Heilongjiang

- Science, 2022, 13(2): 22-23, 26.
- [6] MA Q G, HE N X, HUANG H L, et al. *Hippophae rhamnoides* L.: A comprehensive review on the botany, traditional uses, phytonutrients, health benefits, quality markers, and applications[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2023, 71(12): 4769-4788.
- [7] 赵晓玲, 李昀召, 武永福. 五味子茶叶复合饮料工艺研究[J]. 中国食物与营养, 2015, 21(1): 54-57.
ZHAO Xiaoling, LI Yunzhao, WU Yongfu. Technological development of *Schisandra chinensis* and green tea drink[J]. Food and Nutrition in China, 2015, 21(1): 54-57.
- [8] 王睿, 刘丽达, 蒋勇, 等. 枳椇子五味子复合饮料对酒精肝损伤有辅助保护功能的研究[J]. 公共卫生与预防医学, 2017, 28(6): 34-36.
WANG Rui, LIU Lida, JIANG Yong, et al. Study on auxiliary protective effect of *Hovenia acerba* and *Schisandra chinensis* compound beverage on liver[J]. Journal of Public Health and Preventive Medicine, 2017, 28(6): 34-36.
- [9] 王碧涵, 杨波, 林程程, 等. 五味子葛根复合饮料的工艺研究[J]. 吉林医药学院学报, 2022, 43(6): 401-405.
WANG Bihan, YANG Bo, LIN Chengcheng, et al. Study on the technology of *Schisandra chinensis* and *Pueraria lobata* compound beverage[J]. Journal of Jilin Medical University, 2022, 43(6): 401-405.
- [10] 王瑶, 徐春晖, 杜俊民. 欧李山楂沙棘复合饮料的研制及其抗疲劳研究[J]. 保鲜与加工, 2022, 22(4): 46-51, 58.
WANG Yao, XU Chunhui, DU Junmin. Study on the preparation and anti-fatigue effect of compound beverage of *Cerasus humilis*, hawthorn and *Hippophae rhamnoides*[J]. Storage and Process, 2022, 22(4): 46-51, 58.
- [11] 赵荣敏. 响应面优化沙棘蓝莓复合饮料发酵工艺及品质分析[J]. 美食研究, 2021, 38(3): 90-95.
ZHAO Rongmin. Optimization of fermentation and quality analysis of composite beverage with seabuckthorn and blueberry by response surface methodology[J]. Journal of Researches on Dietetic Science and Culture, 2021, 38(3): 90-95.
- [12] 姚艳红, 李承范, 张敬东, 等. 北五味子水提液中微量元素的形态分析[J]. 食品科技, 2010, 35(3): 292-295.
YAO Yanhong, LI Chengfan, ZHANG Jingdong, et al. Study on the elements and element speciation in the extract of *Schisandra chinensis*[J]. Food Science and Technology, 2010, 35(3): 292-295.
- [13] 向延菊. 沙棘红枣复合果汁饮料的制作工艺研究[J]. 安徽农业科学, 2014, 42(28): 9930-9932.
XIANG Yanju. Study on processing technology of seabuckthorn-jujube compound beverage[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2014, 42(28): 9930-9932.
- [14] 张守媛, 李太村, 栾波, 等. 人参可乐的研制[J]. 中国酿造, 2013, 32(5): 165-168.
ZHANG Shouyuan, LI Taichen, LUAN Bo, et al. Development of ginseng cola[J]. China Brewing, 2013, 32(5): 165-168.
- [15] 蔡文超, 唐凤仙, 单春会, 等. 沙棘葡萄复合饮料发酵工艺初探[J]. 中国酿造, 2017, 36(12): 176-180.
CAI Wenchao, TANG Fengxian, SHAN Chunhui, et al. Exploration on fermentation process of sea-buckthorn and grape compound beverage[J]. China Brewing, 2017, 36(12): 176-180.
- [16] 翟培, 韩晋辉. 扁实柠檬-芒果复合果汁饮料的工艺研究[J]. 食品研究与开发, 2018, 39(13): 82-87.
ZHAI Pei, HAN Jinhui. Study on the processing technology of *Citrus depressa* Hayata and mango compound juice beverage[J]. Food Research and Development, 2018, 39(13): 82-87.
- [17] 吴澎, 贾朝爽, 李向阳, 等. 响应面分析优化福林酚法测定樱桃酒中总酚的含量[J]. 食品工业科技, 2018, 39(20): 200-206, 211.
WU Peng, JIA Chaoshuang, LI Xiangyang, et al. Determination of the total phenolic content from cherry wine by folin-ciocalteu method optimized by response surface methodology[J]. Science and Technology of Food Industry, 2018, 39(20): 200-206, 211.
- [18] 禄璐, 米佳, 罗青, 等. 枸杞总黄酮提取工艺优化及其体外抗氧化活性分析[J]. 食品工业科技, 2019, 40(24): 165-171.
LU Lu, MI Jia, LUO Qing, et al. Optimization of extraction process of flavonoids from *Lycium barbarum* L. var. *auranticarpum* K.F.Ching and its antioxidant activities *in vitro*[J]. Science and Technology of Food Industry, 2019, 40(24): 165-171.
- [19] 李尽哲, 张弛, 盛思佳, 等. 花脸香蘑山药菌质饮料的配方优化及其抗氧化活性[J]. 食品工业科技, 2023, 44(5): 195-203.
LI Jinzhe, ZHANG Chi, SHENG Sijia, et al. Optimization of formula of *Lepista sordida* and yam fungal substance beverage and its antioxidant activity[J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(5): 195-203.
- [20] 葛永辉, 汪玲, 姜天丽, 等. 黑莓玫瑰复合饮料的制备及其抗氧化活性[J]. 食品研究与开发, 2023, 44(7): 121-128.
GE Yonghui, WANG Ling, JIANG Tianli, et al. Preparation and antioxidant activity of blackberry-rose compound beverage[J]. Food Research and Development, 2023, 44(7): 121-128.
- [21] 陈怡飞, 肖婧楠, 董蕾, 等. 辣木叶茶青梅复合饮料的制备及其抗氧化活性评价[J]. 山西农业科学, 2022, 50(11): 1527-1535.
CHEN Yifei, XIAO Jingnan, DONG Lei, et al. Development of *Moringa oleifera* Lam. leaf tea and greengage compound beverage and evaluation of its antioxidant activity[J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2022, 50(11): 1527-1535.
- [22] ORELLANA-PAUCAR A M. Steviol glycosides from *Stevia rebaudiana*: An updated overview of their sweetening activity, pharmacological properties, and safety aspects[J]. Molecules, 2023, 28(3): 1258.
- [23] REENA R, SINDHU R, BALAKUMARAN P A, et al. Insight into citric acid: A versatile organic acid[J]. Fuel, 2022, 327: 125181.
- [24] NSENGIYUMVA E M, ALEXANDRIDIS P. Xanthan gum in aqueous solutions: Fundamentals and applications[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2022, 216: 583-604.
- [25] NTAZINDA A, CHESEREK M J, SHENG L X, et al. Combination effect of sodium carboxymethyl cellulose and soybean soluble polysaccharides on stability of acidified skimmed milk drinks[J]. Dairy Science & Technology, 2014, 94(3): 283-295.
- [26] KHOSHDOUNI FARAHANI Z, MOUSAVI M, SEYEDAIN ARDEBILI M, et al. Stability, physicochemical, rheological and sensory properties of beverage containing encapsulated jujube extract with sodium alginate stabilized by sodium alginate and Gellan gum[J]. Food Chemistry Advances, 2023, 2: 100195.
- [27] 胡雨卿, 肖雯渲, 杨启财, 等. 混浊型炮制佛手饮料配方优化及稳定性研究[J]. 食品研究与开发, 2022, 43(12): 86-95.
HU Yuqing, XIAO Wenxuan, YANG Qicai, et al. Optimization and stability of the recipe of turbid processed bergamot beverage[J]. Food Research and Development, 2022, 43(12): 86-95.

加工编辑:王雪

收稿日期:2023-11-07