

模糊数学评价结合响应面法优化山楂黑蒜复合饮料

贾庆超*, 孔欣欣

(郑州科技学院 食品科学与工程学院, 郑州 450000)

摘 要: **目的** 以山楂和黑蒜为主要原料制备山楂黑蒜复合饮料, 并对其进行抗氧化性能测试。**方法** 在单因素试验的基础上, 选择山楂黑蒜复合汁、白砂糖、柠檬酸、稳定剂羧甲基纤维素钠(carboxymethyl cellulose, CMC)为影响因素, 以 1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl, DPPH)自由基清除率为指标, 采用模糊数学评价和响应面法对配方进行优化。**结果** 最佳复合饮料配方为: 山楂黑蒜复合汁体积比 5.58:1 (V:V), 白砂糖添加量 8.9%, 柠檬酸添加量 0.148%, 稳定剂 CMC 添加量 0.178%。在此最佳配方条件下, 复合饮料感官得分为 90.39 分, 复合饮料对 DPPH 自由基最大清除率为 88.7%, 表明其具有一定抗氧化性。**结论** 模糊数学评价和响应面优化法用于山楂黑蒜复合饮料的制备评价真实可靠, 本研究可为山楂黑蒜复合饮料的制备及工业化提供科学的数据参考。

关键词: 山楂; 黑蒜; 复合饮料; 模糊数学评价; 响应面法; 抗氧化活性

Optimization of hawthorn and black garlic compound beverage by fuzzy mathematics evaluation combined with response surface methodology

JIA Qing-Chao*, KONG Xin-Xin

(School of Food Science and Engineering, Zhengzhou University of Science and Technology, Zhengzhou 450000, China)

ABSTRACT: Objective To prepare the hawthorn and black garlic compound beverage by using as the main raw materials of hawthorn and black garlic, and test its antioxidant properties. **Methods** On the basis of single factor experiment, hawthorn and black garlic compound juice, white granulated sugar, citric acid, and stabilizer carboxymethyl cellulose (CMC) were selected as the influencing factors, and 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) free radical scavenging rate was taken as the index. The formula was optimized by fuzzy mathematics evaluation and response surface methodology. **Results** The best formula of the compound beverage was as follows: The volume ratio of hawthorn and black garlic compound juice was 5.58:1 (V:V), the amount of white granulated sugar was 8.9%, the amount of citric acid was 0.148%, and the amount of stabilizer CMC was 0.178%. Under the optimum condition, the sensory score of the compound beverage was 90.39. The maximum scavenging rate of DPPH free radical of the compound beverage was 88.7%, which indicated that the compound beverage had certain antioxidant activity.

基金项目: 河南省大学生创新创业项目(s202012746022)

Fund: Supported by the Henan University Student Innovation and Entrepreneurship Project (s202012746022)

*通信作者: 贾庆超, 硕士, 副教授, 主要研究方向为食品研究与开发。E-mail: someone0803@163.com

*Corresponding author: JIA Qing-Chao, Master, Associate Professor, Zhengzhou University of Science and Technology, Zhengzhou 450000, China. E-mail: someone0803@163.com

Conclusion Fuzzy mathematics evaluation and response surface optimization methodology are used to evaluate the preparation of hawthorn and black garlic compound beverage, which is true and reliable. This study can provide scientific data reference for the preparation and industrialization of hawthorn and black garlic compound beverage.

KEY WORDS: hawthorn; black garlic; compound beverage; fuzzy mathematics evaluation; response surface methodology; antioxidant activity

0 引言

山楂, 属蔷薇科类植物, 是中国特有的药果, 也是我国传统水果之一, 有“北方珍品”之称, 富含丰富蛋白质、氨基酸、糖类、矿物质、维生素、黄酮类、三帖类等多种营养成分, 具有非常好的保健作用^[1]。尤其是山楂中丰富的黄酮类化合物是一种很强的抗氧化剂, 可以有效清除体内的氧自由基, 改善血循环, 降低胆固醇, 降低心脑血管疾病的发病率。山楂中的山楂酸等可提高蛋白酶的活性, 有助消化, 服用山楂后胃中酶活性会增强^[2]。ZHANG 等^[3]研究表明, 山楂果实提取物对体液免疫和细胞免疫有促进作用。山楂为主要原料的饮料研究较多, 说明山楂饮料比较受人们欢迎。黑蒜保留了大蒜原有成分和功能, 超氧化物歧化酶活性高、 H_2O_2 清除活性强、多酚含量显著高于大蒜。而且黑蒜在发酵过程中, 能分解出 18 种人体必需氨基酸及微量元素, 氨基酸含量为大蒜的 2.5 倍^[3]。黑蒜又名“赛人参”, 因为大蒜在长时间的发酵过程中, 大多数蛋白质转化成对人体有益的氨基酸, 保健功能也提高了将近 30 倍^[4]。黑蒜保留了大蒜的抗菌功效, 能够有效预防感冒。相启森等^[5]研究表明黑蒜具有强杀菌消毒作用和抗氧化性, 可延缓衰老、预防癌症和心脑血管疾病, 对降血糖、血压、血脂、保护肝脏等有效^[6], 是一种新兴的多功能保健食品。然而黑蒜为主要原料制备的饮料, 目前市场上尚未出现, 因此具有广阔的市场前景。

目前以山楂为主原料的复合饮料, 研究不够系统, 且保健性能不强, 本研究以山楂、黑蒜为原料开发一种新型复合饮料并且研究其抗氧化性能, 以期为山楂、黑蒜的深加工提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与设备

黑蒜: 宏康农产品直销店; 山楂、白砂糖: 散装, 食品级, 市售。

柠檬酸(食品级, 潍坊英轩实业有限公司); 稳定剂羧甲基纤维素钠(carboxymethyl cellulose, CMC) (食品级, 市售); 无水乙醇(分析纯, 华天生物科技有限公司); DPPH (1,1-二苯基-2-三硝基苯肼, 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl, 上海研瑾生物有限公司); 维生素 C (vitamin C, VC, 100 mg/片, 广东恒健制药有限公司)。

PXSJ-216 恒温水浴锅(上海仪电科学仪器有限公司); BSA124S 万分之一电子天平[赛多利斯科学仪器(北京)有限公司]; DJ06X 打浆机(山东九阳股份有限公司); C25 均质机(上海恒川机械设备有限公司); UV765CRT 紫外可见分光光度计(上海精学科学仪器有限公司)。

1.2 试验方法

1.2.1 山楂汁制作工艺流程

山楂汁制作工艺流程: 山楂→挑选→清洗→去籽→预煮→打浆→过滤→山楂汁。

操作要点: 挑选无病虫害、无霉变且饱满的山楂果清洗、去核、破碎, 在 70 °C 下预煮沸 10 min, 使山楂得到软化, 果胶有效溶出, 然后按照山楂与水 1:5 (*m:m*) 的比例打浆浸提, 300 目滤布过滤, 得山楂原汁^[7]。

1.2.2 黑蒜汁制作工艺流程

黑蒜汁制作工艺流程: 黑蒜→挑选→剥皮→清洗→制浆→过滤→黑蒜汁。

操作要点: 选择无腐烂霉变且肉质肥厚的黑蒜, 剥皮分瓣, 切根去蒂, 后用 0.9% 的盐水将黑蒜洗净, 将清洗后的黑蒜按料水比 1:4 (*m:V*) 的比例放入组织捣碎机内打浆, 用 300 目滤布过滤即得黑蒜汁^[8]。

1.2.3 复合饮料的制备

复合饮料流程见图 1。

黑蒜汁、山楂汁→混匀→调配(加白砂糖、柠檬酸、稳定剂)→均质→灭菌→检验→成品

图 1 复合饮料流程图

Fig.1 Flow chart of compound beverage

1.2.4 复合饮料的感官评价

感官评价标准参考国家标准 GB/T 31326—2014《植物饮料》的评价方法, 根据实际情况制定感官评价标准如表 1。所选择的感官评价人员为本专业经过感官评价培训的同学, 在光线较好的地方仔细观察样品的色泽和组织状态, 用手煽动样品细闻味道, 每次感官评价前应先用水漱口, 评价前 12 h 不可以吃辛辣刺激食物, 评价人员无生理感官缺陷, 评价期间为避免评价者之间相互影响, 禁止互相讨论。

1.2.5 试验设计

(1) 单因素试验

以山楂汁与黑蒜汁体积比为 1:1、3:1、6:1、8:1、1:2 (共 100 mL)复配^[9], 因为山楂汁本身较为浓稠, 自身含有丰富的天然果胶, 所以只选取 1 种稳定剂 CMC 即可。其他添加

参数值如下: 白砂糖 3%、5%、7%、9%、11%, 柠檬酸 0.05%、0.10%、0.15%、0.20%、0.25%, 稳定剂 0.12%、0.14%、0.16%、0.18%、0.20%, 通过感官评价来考察各物质的最佳添加值^[10]。

(2)响应面试验设计

根据以上各单因素试验结果, 对影响山楂黑蒜复合饮料 4 个因素山楂黑蒜复合汁、白砂糖、柠檬酸和稳定剂采用四因素三水平的响应面优化试验, 以感官评价为响应值, 采用 Design-Expert 10.0.7 版本软件, Box-Behnken 设计原理, 邀请 10 位经过感官评价的人员进行感官评价, 因素水平表如表 2 所示。

1.2.6 数学评价模型的建立

(1)因素集和评语集的建立

以滋味(U_1)、气味(U_2)、色泽(U_3)和组织状态(U_4) 4 个评价指标组成山楂黑蒜饮料的评价因素集, 即 $U=(\text{滋味 } U_1, \text{气味 } U_2, \text{色泽 } U_3, \text{组织状态 } U_4)$, 以优 V_1 、良 V_2 、中 V_3 、差 V_4 组成对山楂黑蒜饮料每个因素的评语集, 即 $V=(\text{优 } V_1, \text{良 } V_2, \text{中 } V_3, \text{差 } V_4)^{[11]}$ 。

(2)权重集的确定

本次权重集的确定采用用户调查法和模糊二元对比决策法^[12], 邀请 10 位经过培训的感官评价人员对影响山楂黑蒜复合饮料的因素项目重要性进行打分, 通过因素之间的对比, 认为重要的得 1 分, 不重要的得 0 分, 每个因素自身的比较得 1 分, 每个因素得分总和除以 100 即为本因素的权重, 权重统计表如表 3 所示。

根据统计结果, 权重集 $M=(M_1, M_2, M_3, M_4)=(0.33, 0.27, 0.21, 0.19)$, 其中 M_1, M_2, M_3, M_4 分别为山楂黑蒜饮料的滋味、气味、色泽和组织状态的权重。

(3)模糊矩阵的建立及评价结果的确定

邀请 10 名感官评价人员根据感官评价标准, 分别对山楂黑蒜复合饮料的各个因素进行感官评价, 统计出每个影响因素在感官评价每个等级中的票数分布, 然后将每个因素得票数除以参与感官评价的总人数 10, 即可得到 y_{ij} ($i=1,2,\dots,n; j=1,2,\dots,m$), 所以根据得票结果, 第 x 号试验样品的模糊矩阵就可以建立为:

表 1 感官评分标准
Table 1 Sensory scoring criteria

项目	优 V_1	良 V_2	中 V_3	差 V_4
滋味 U_1	口感细腻, 柔和爽口, 酸甜恰当, 口感爽滑	口感一般, 有山楂和黑蒜风味, 酸甜基本可口	口感稍差, 山楂味道或黑蒜味道稍重, 偏酸或偏甜	口感极差, 无饮料风味, 过酸或过甜
气味 U_2	两者气味融合恰当, 自然浓郁的山楂味儿和黑蒜味儿	自然淡淡的山楂味儿和黑蒜味儿, 两种气味稍不协调, 稍淡薄	山楂味儿淡、黑蒜味儿明显, 香味不均一	黑蒜味儿过重, 稍许刺鼻, 无饮料的香气, 有异味
色泽 U_3	亮橘色, 纯正透明, 均匀通透	暗橘色, 颜色纯正稍暗透明, 稍许浑浊	色泽较差, 稍透明, 发暗褐色, 不均匀	不透明, 极差, 暗黑色, 不均匀
组织状态 U_4	质地均匀、细腻, 无分层、沉淀现象	质地较均匀, 有轻微的分层和沉淀现象	质地较均匀, 有分层和沉淀现象	质地不均匀, 分层和沉淀现象明显

表 2 Box-Behnken 响应面设计因素水平表
Table 2 Table of factors and levels of Box-Behnken response surface design

水平	因素			
	A 山楂黑蒜复合汁比例(V:V)	B 白砂糖的添加量/%	C 柠檬酸的添加量/%	D 稳定剂的添加量/%
-1	5.5:1	7	0.10	0.16
0	6.0:1	9	0.15	0.18
1	6.5:1	11	0.20	0.20

表 3 各因素权重分布表
Table 3 Weight assignment table of each factor

评价指标	各项因素得分					权重
	滋味	气味	色泽	组织状态	总计	
滋味	10	8	7	8	33	0.33
气味	2	10	7	8	27	0.27
色泽	3	3	10	5	21	0.21
组织状态	2	2	5	10	19	0.19

$$U_k = \begin{matrix} & y_{11} & y_{12} & \cdots & y_{1m} \\ y_{21} & y_{21} & y_{22} & \cdots & y_{2m} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ y_{n1} & y_{n1} & y_{n2} & \cdots & y_{nm} \end{matrix}$$

k 为第 k 号试验样品, 根据模糊矩阵的变换的原理, 感官评价的综合评价结果 P 就可以用下式计算: $P=M\times U_k$, 为了得到 k 号试验样品准确的感官评分, 我们将感官评价标准中的优、良、中、差分别赋值为 95、85、75、65, 将感官评价结果 P 值相加即可得到最终 k 号样品的感官评分 $Y^{[13]}$ 。

1.2.7 山楂黑蒜复合饮料抗氧化性的研究方法

不同体积分数样品溶液的配制: 准备 5 个 50 mL 比色管, 依次编号为 1、2、3、4、5, 分别在每个比色管中加入 8 mL 0.1 mmol/L DPPH 溶液, 再依次在比色管中加入 0.9、2.0、2.7、8.0、24.0 mL 复合饮料, 得到样品的体积分数(复合饮料体积与总体积之比)分别为 0.10、0.20、0.25、0.50、0.75。

不同体积分数 VC 溶液的配制: 准备 5 个 50 mL 比色管, 依次编号为 1、2、3、4、5, 分别在每个比色管中加入 8 mL 0.1 mmol/L DPPH 溶液后, 依次在比色管中加入 0.2 mmol/mL 的 VC 溶液 0.9、2.0、2.7、8.0、24.0 mL, 得到 VC 溶液的体积分数(VC 体积与总体积之比)分别为 0.10、0.20、0.25、0.50、0.75。

采用周笑梨等^[14]的方法测定复合饮料对 DPPH 自由基的清除能力, 同时配制相同浓度的 VC 溶液, 在相同的测定试验条件下进行对比试验, 清除率计算公式如式(1):

清除率(%)=[1-(A₁-A₂)/A₁] 100% (1)

式中: A_1 为自由基与缓冲溶液的吸光度; A_2 为复合饮料与自由基混合溶液的吸光度。

2 结果与分析

2.1 单因素试验

2.1.1 山楂汁与黑蒜汁添加比例对复合饮料感官评分的影响

试验设计知山楂汁与黑蒜汁体积配比(V:V)分别为 1:1、3:1、6:1、8:1、1:2, 确定添加 7%的白砂糖、0.10%的柠檬酸、0.16%的稳定剂进行如下试验, 探究山楂汁与黑蒜汁体积配

比的变化对复合饮料感官评价的影响, 感官评价结果见表 4。

由表 4 可知, 山楂汁所占比例为 1:1 (V:V)较低时, 饮料容易形成沉淀或分层。这是因为山楂含有丰富的果胶, 所以其汁液也较为浓稠。而黑蒜汁经过过滤, 其汁液变得通透清澈。随着山楂汁比例的增加, 增加至 6:1 (V:V)时饮料色泽越来越鲜艳, 容易使人接受, 滋味也越来越适宜, 此时由于果胶浓度较大, 复合饮料稳定性较好。随着山楂汁比例增大, 山楂味道显著, 没有黑蒜的风味, 当山楂汁与黑蒜汁比例为 6:1 (V:V)时, 感官评价最佳, 改变山楂汁与黑蒜汁的添加比例, 对产品的风味和香味影响较大^[15]。因此, 最佳的山楂黑蒜配比液选用 6:1 (V:V)。

2.1.2 白砂糖添加量对复合饮料感官评分的影响

山楂黑蒜配比液为 6:1 (V:V)、0.10%的柠檬酸、0.16%稳定剂, 选取白砂糖添加量为 3%、5%、7%、9%、11%, 探究不同白砂糖添加量对复合饮料的影响。由结果可知, 随着白砂糖添加质量分数不断增加, 复合饮料的酸甜度会越来越适宜。但感官评价总得分趋势为: 先升高后降低。当白砂糖添加质量分数为 9%时评分最高, 所以 9%添加量的白砂糖为最佳水平。白砂糖的溶液颜色呈透明色, 所以对形状、色泽的影响较小。在试验过程中使用白砂糖要适量, 甜或稍甜一点的产品对于消费者来说更容易接受, 当白砂糖含量较低时, 饮料味道稍偏酸, 黑蒜味也稍突出, 不易被人接受, 感官评价较低。

2.1.3 柠檬酸添加量对复合饮料感官评分的影响

山楂黑蒜配比汁液为 6:1 (V:V), 白砂糖添加量为 9%, 稳定剂为 0.16%, 选取柠檬酸添加量为 0.05%、0.10%、0.15%、0.20%、0.25%, 探究柠檬酸添加量对复合饮料的影响。由结果可知, 随着柠檬酸添加质量分数增大, 复合饮料的酸甜口感会越来越适宜。但当添加超过 0.15%时, 复合饮料的味道会逐渐变酸。因此选用 0.15%的柠檬酸为最佳添加水平。柠檬酸添加量对产品的综合评价和口感风味影响较大。随着柠檬酸添加量的增大, 产品的综合评价趋势为: 先升高后略有降低。原因可能是柠檬酸主要起调节酸甜口感风味的作用, 对产品形态和外观没有影响, 加入过多会使复合饮料过于酸涩, 影响口感。

表 4 山楂汁、黑蒜汁体积对比对复合饮料影响的评分结果
Table 4 Scoring results of the effects of the mass ratio of hawthorn juice and black garlic juice on compound beverages

体积配比(V:V)	感官评价	评分
1:1	颜色暗黑, 较为均匀通透, 汁液有沉淀, 黑蒜味重, 山楂味淡	69.3
3:1	颜色呈暗褐色, 较为均匀通透, 汁液分层, 黑蒜味有点浓重	75.5
6:1	颜色呈橙色, 较为均匀通透, 汁液浑浊稳定, 兼有山楂、黑蒜的香味, 酸甜味适宜	80.2
8:1	颜色浅橙色, 均匀, 汁液稳定, 山楂味道较重, 味道偏酸	78.6
1:2	颜色暗黑, 较为均匀通透, 汁液有沉淀, 黑蒜味浓重, 没有山楂的味道	62.3

2.1.4 CMC 稳定剂添加量对复合饮料感官评分的影响

山楂黑蒜配比液为 6:1 (V:V), 白砂糖添加量为 9%, 柠檬酸添加量为 0.10%。考察稳定剂添加量为 0.12%、0.14%、0.16%、0.18%、0.20% 进行如下试验, 探究不同添加量的稳定剂对复合饮料的影响。由结果可知, 稳定剂对感官评价的影响为先增后减, 0.18% 为最适添加量。当添加量小于 0.18% 时, 放置 48 h, 出现分层现象, 说明此时稳定剂的量不能够使复合饮料稳定存在, 会影响其感官评价; 当添加量为 0.18%, 放置

48 h 无分层, 且流动性好; 当复合稳定剂的添加量大于 0.18% 时, 复合饮料的流动性不好, 而流动性不好, 会直接影响饮料的感官评价, 所以感官评分会随着复合稳定剂添加量的增加而降低, 故 0.18% 是复合稳定剂的最适添加量。

2.2 响应面优化试验

根据 1.2.5(2)响应面优化试验方法, 模糊数学评价各因素评价的投票数如表 5 所示。

表 5 感官评价票数分布
Table 5 Distribution of sensory evaluation votes

序号	滋味				气味				色泽				组织状态			
	优	良	中	差	优	良	中	差	优	良	中	差	优	良	中	差
1	2	3	3	2	2	1	2	5	3	1	1	5	2	1	1	6
2	3	3	3	1	3	2	3	2	5	2	2	1	3	2	2	3
3	7	2	1	0	5	3	1	1	6	3	0	1	6	3	1	0
4	4	2	1	3	2	3	2	3	3	2	2	3	3	1	3	3
5	3	3	1	3	2	2	3	3	3	1	2	5	3	2	2	3
6	3	3	3	1	3	2	2	3	3	2	3	2	2	3	3	2
7	6	3	1	0	6	3	1	0	7	2	1	0	6	3	1	0
8	5	2	2	1	5	2	3	0	4	3	2	1	3	3	3	1
9	1	1	1	7	2	1	2	5	2	1	1	6	2	1	1	6
10	2	3	3	2	3	4	1	2	3	2	3	2	3	3	1	3
11	3	3	2	2	2	3	2	3	2	3	1	4	2	2	3	3
12	2	3	2	3	2	1	2	5	2	2	1	5	2	2	2	4
13	3	2	3	2	3	1	2	4	2	1	1	5	2	2	1	5
14	8	1	1	0	7	3	0	0	7	2	0	1	7	1	1	1
15	3	2	3	2	2	4	2	2	2	2	1	5	3	3	3	1
16	2	3	3	2	3	2	1	4	3	2	2	3	3	2	3	2
17	2	2	1	5	2	1	3	4	1	1	3	5	1	1	4	4
18	2	3	2	3	3	3	1	3	2	1	2	5	2	2	1	5
19	7	3	0	0	8	1	1	0	6	2	2	0	6	1	3	0
20	5	2	2	1	4	2	3	1	5	3	1	1	5	2	2	1
21	8	1	0	1	7	2	1	0	6	2	1	1	6	3	1	0
22	3	3	2	2	2	1	2	5	2	1	1	6	1	3	3	3
23	3	2	2	3	3	3	4	0	4	1	4	1	2	3	3	2
24	3	3	3	1	3	2	2	3	3	2	3	2	2	2	3	3
25	5	2	3	0	5	2	1	2	4	2	2	2	5	1	2	2
26	3	2	2	3	2	2	1	5	1	3	3	3	2	3	3	2
27	5	2	1	2	3	3	3	1	3	2	1	4	3	1	3	3
28	3	2	3	2	3	2	2	3	2	2	3	3	2	2	1	5
29	2	3	4	1	3	3	1	3	2	2	2	4	2	3	1	4

将表 5 中的数据建立模糊评价矩阵, 将每个样品的各自影响因素的得票数除以总的参与评价人数 10 即可得到各个模糊矩阵 $U_1 \sim U_{29}$, 以 1 号产品为例: 滋味的评价人数分别为: 2 人选优, 3 人选良, 3 人选 中, 2 人选差, 则 $U_{\text{滋味}}=(0.2, 0.3, 0.3, 0.2)$, 同理, $U_{\text{气味}}=(0.2, 0.1, 0.2, 0.5)$, $U_{\text{色泽}}=(0.3, 0.1, 0.1, 0.5)$, $U_{\text{组织状态}}=(0.2, 0.1, 0.1, 0.6)$, 由此可得到矩阵 U_1 :

$$U_1 = \begin{pmatrix} 0.2 & 0.3 & 0.3 & 0.2 \\ 0.2 & 0.1 & 0.2 & 0.5 \\ 0.3 & 0.1 & 0.1 & 0.5 \\ 0.2 & 0.1 & 0.1 & 0.6 \end{pmatrix}, \text{ 同理, 可以得到 } U_1 \sim U_{29}.$$

根据模糊数学计算原理和权重集 $M=(M_1, M_2, M_3, M_4)=(0.33, 0.27, 0.21, 0.19)$, 按照矩阵相乘方法, 感官评价结果 $P_1=M \times U_1=(0.221, 0.166, 0.193, 0.42)$, 对于 P 中的各个量, 分别赋予其相应分值, 优、良、中、差分别为 95、85、75、65 分, P 中各个量分别乘以相应分值, 再相加即可得到 1 号感官评分, 即 1 号样品感官评分: $Y=0.221 \times 95+0.166 \times 85+0.193 \times 75+0.42 \times 65=76.9$, 同理可以计算出 2~29 号样品的感官得分, 响应面设计结果见表 6。

对表 6 中的数据进行回归分析, 得到的回归方程为: $Y=90.26+0.91A-0.44B-0.52C-1.27D+0.90AB+0.62AD+0.75BC-0.12BD-0.95CD-2.78A^2-3.21B^2-7.60C^2-7.05D^2$, 方差分析如表 7 所示。

由表 7 中的方差分析结果可知, 模型的 $P<0.0001$, 表明试验所采用的二次模型是极显著的。失拟项 $P=0.4064>0.05$, 表明对模型是有利的, 模型具有高度可靠性^[16-17]。对试验模型的可信度进行分析, 得到 $R^2=0.9890$, 表明响应值的变化 98.90% 来自所选因素, 方程的拟合度较好, 方程的调整决定系数 $R_{\text{adj}}^2=0.9871$, 说明有 98.71% 的试验符合该模型, 与实际情况符合良好^[18-22]。变异系数 (coefficient of variation, CV)/%=0.87, 较小, 方程模型具有良好重现性^[23]。一次项 A 、 D 及二次项 A^2 、 B^2 、 C^2 、 D^2 对结果影响极显著 ($P<0.01$), 一次项 B 、 C 及二次项 AB 、 CD 对结果影响显著 ($0.01<P<0.05$)。根据 F 值, 各因素对试验结果影响的先后次序为 $D>A>C>B$ 。

2.3 响应面分析

根据回归方程建立响应面图, 结果见图 2。响应面越陡峭, 等高线越密集, 表明该因素对实验结果影响越显著^[24], CD 响应面较陡峭, 影响最显著, 其次是 AB , 这与方差分析结果一致。等高线越接近于椭圆形, 二者交互作用越强, 反之圆形则交互作用不强^[25]。从等高线可以看出, $ABCD$ 两两之间均有一定的交互作用。利用 Design-Expert 10.0.7 对回归方程进行回归分析, 确定最佳添加量为: A 山楂黑蒜复合汁比例: 5.58:1 (V:V), B 白砂糖添加量 8.9%, C 柠檬酸添加量 0.148%, D 稳定剂添加量 0.178%, 得分 90.39 分。

2.4 山楂黑蒜复合饮料抗氧化性的研究

参考周笑梨等^[14]的测定方法, 对 DPPH 自由基清除率测定结果见图 3。

由图 3 可知, 随着浓度的增大, VC 和复合饮料对 DPPH 自由基的清除能力均有所提升, 在浓度较低的时候, 二者的清除 DPPH 自由基的能力几乎是相当的, 随着浓度的增大, 二者稍有差异, 但差别不大, 在 5 次试验中, 山楂黑蒜复合饮料对 DPPH 自由基的清除率平均在 80% 以上, 其中最大清除率为 88.7%, 由此可以得出山楂黑蒜复合饮料具有一定的抗氧化性, 与 VC 溶液几乎相当。

表 6 响应面试验设计与结果

Table 6 Design and results of response surface experiments

试验号	A	B	C	D	感官评分 Y
1	0	0	-1	-1	76.9
2	-1	1	0	0	82.5
3	0	0	0	0	89.3
4	0	-1	-1	0	80.2
5	0	-1	1	0	78.7
6	0	-1	0	-1	81.2
7	0	0	0	0	90.2
8	1	1	0	0	85.5
9	0	0	1	1	73.3
10	-1	0	0	-1	81.2
11	-1	0	-1	0	79.6
12	-1	0	0	1	76.9
13	-1	0	1	0	77.8
14	0	0	0	0	91
15	1	0	0	1	80.3
16	1	0	1	0	79.9
17	0	0	-1	1	76.5
18	0	1	-1	0	78.1
19	0	0	0	0	90.6
20	-1	-1	0	0	85.7
21	0	0	0	0	90.2
22	0	0	1	-1	77.5
23	1	0	-1	0	81.7
24	0	1	0	-1	80.8
25	1	-1	0	0	85.1
26	0	1	0	1	78.3
27	1	0	0	-1	82.1
28	0	-1	0	1	79.2
29	0	1	1	0	79.6

表 7 响应面回归模型的方差分析
Table 7 Analysis of variance of response surface regression model

方差来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值	显著性
模型	637.56	14	45.54	90.18	<0.0001	**
A	9.90	1	9.90	19.61	0.0006	**
B	2.34	1	2.34	4.64	0.0492	*
C	3.20	1	3.20	6.34	0.0246	*
D	19.25	1	19.25	38.13	<0.0001	**
AB	3.24	1	3.24	6.42	0.0239	*
AC	0.000	1	0.000	0.000	1.0000	
AD	1.56	1	1.56	3.09	0.1004	
BC	2.25	1	2.25	4.46	0.0533	
BD	0.063	1	0.063	0.12	0.7302	
CD	3.61	1	3.61	7.15	0.0182	*
A ²	50.28	1	50.28	99.57	<0.0001	**
B ²	66.80	1	66.80	132.29	<0.0001	**
C ²	374.33	1	374.33	741.30	<0.0001	**
D ²	322.09	1	322.09	637.85	<0.0001	**
残差	7.07	14	0.50			
失拟项	5.48	10	0.55	1.38	0.4064	
纯误差	1.59	4	0.40			
总离差	644.63	28				
其他			$R^2=0.9890$	$R_{adj}^2=0.9781$	$CV/\%=0.87$	

注: *表示对结果影响显著($P<0.05$), **表示对结果影响极显著($P<0.01$)。

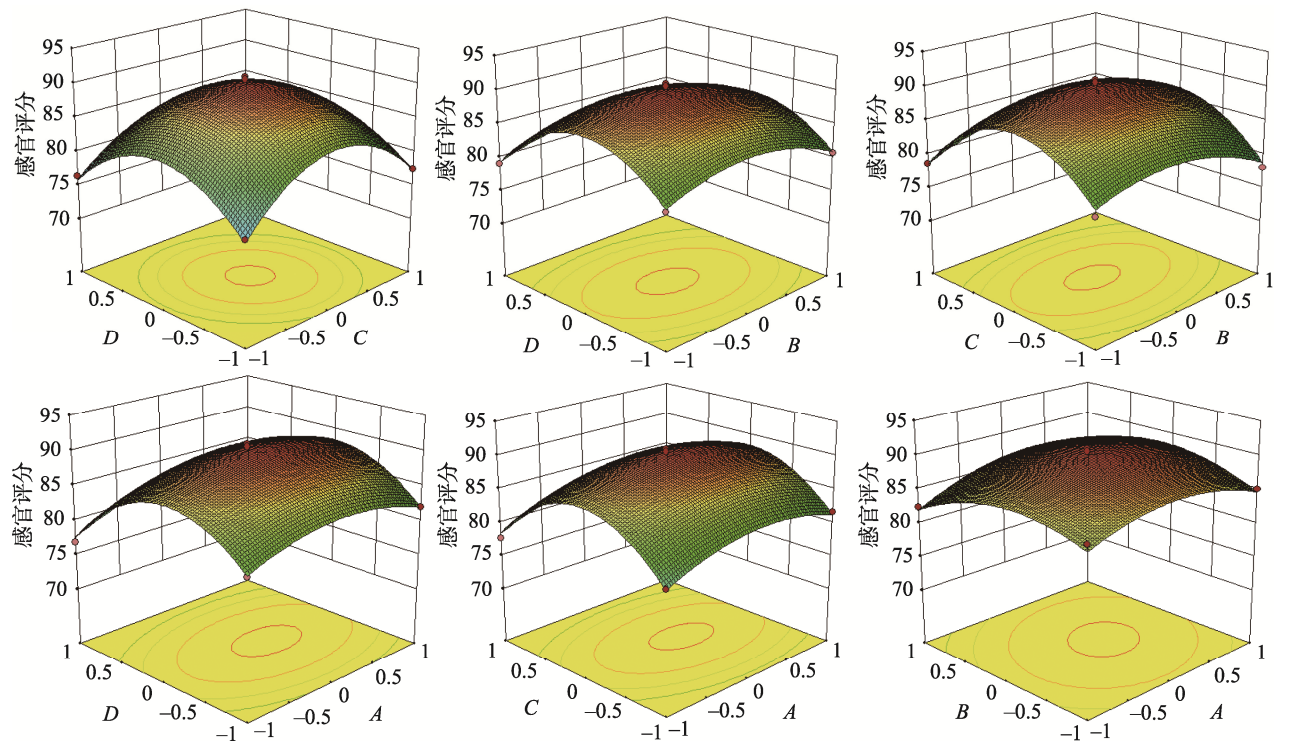


图 2 响应面及等高线图
Fig.2 Diagrams of response surface and contour line

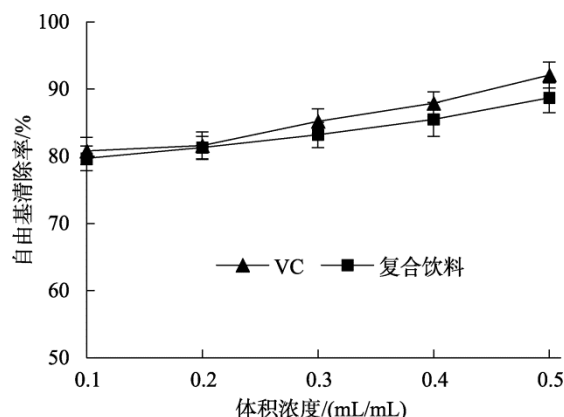


图3 复合饮料清除 DPPH 自由基的能力($n=5$)
Fig.3 DPPH radical scavenging capacity of compound beverage ($n=5$)

3 结论与讨论

本研究首先对山楂黑蒜复合汁进行感官评价试验,在此基础上,对白砂糖、柠檬酸、CMC 稳定剂进行单因素试验,根据试验结果,采用数学模糊评价法和响应面法相结合研究了山楂黑蒜复合饮料的最佳制备工艺。结果表明,影响复合饮料的因素顺序为稳定剂 CMC 添加量 > 山楂黑蒜复合汁比例 > 柠檬酸添加量 > 白砂糖添加量,响应面回归分析表明最佳配方为:山楂黑蒜复合汁比例为 5.58:1 (V:V),白砂糖添加量 8.9%,柠檬酸添加量 0.148%,稳定剂添加量 0.178%,得分 90.39 分。抗氧化性研究表明,山楂黑蒜 DPPH 自由基最大清除率为 88.7%,表明该复合饮料具有一定的抗氧化能力。

参考文献

- [1] 肖玫,袁全. 山楂的营养保健功能与加工利用[J]. 中国食物与营养, 2006, (7): 59-60.
XIAO M, YUAN Q. Nutrition and health care function and processing utilization of hawthorn [J]. Food Nutr China, 2006, (7): 59-60.
- [2] 艾学东. 山楂汁饮料的发展浅析[J]. 饮料工业, 2018, 21(3): 66-68.
AI XD. Analysis on the development of hawthorn juice beverage [J]. Bever Ind, 2018, 21(3): 66-68.
- [3] ZHANG L, TU Z, XIE X, et al. Antihyperglycemic, antioxidant activities of two acer palmatum cultivars, and identification of phenolics profile by UPLC-QTOF-MS/MS: New natural sources of functional constituents [J]. Ind Crops Prod, 2016, 14(89): 522-532.
- [4] NOWAK V, DU J, UR C. Assessment of the nutritional composition of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) [J]. Food Chem, 2016, 193(2): 47-54.
- [5] 相启森,张丽华,姜亭亭,等. 藜麦提取物体外抗氧化活性研究[J]. 食品工业科技, 2016, 37(2): 21.
XIANG QS, ZHANG LH, JIANG TT, et al. Determination of the *in vitro* antioxidant capacity of quinoa seeds extracts [J]. Sci Technol Food Ind, 2016, 37(2): 21.
- [6] 刘静,李湘利,赵强,等. 黑蒜鸡枞菌复合饮料的制备及其清除自由基活性[J]. 食品科技, 2019, 44(3): 102-107.
LIU J, LI XL, ZHAO Q, et al. Preparation and scavenging free radical activity of compound beverage with black garlic and *Termitomyces albinus* [J]. Food Sci Technol, 2019, 44(3): 102-107.
- [7] 冷桂华. 枸杞山楂汁复合饮料的研制[J]. 饮料工业, 2008, (12): 38-40.
LENG GH. Preparation of compounded beverage of Chinese wolfberry and haw [J]. Bever Ind, 2008, (12): 38-40.
- [8] 韩舜愈,蒋志荣. 蒜汁脱臭处理及保健蒜汁饮料的研制[J]. 农产品加工, 2005, (11): 4-6.
HAN SY, JIANG ZR. Garlic juice deodorized treatment and study of health garlic beverage [J]. Acad Period Farm Prod Process, 2005, (11): 4-6.
- [9] 王文晶,于有伟,郭艳平. 山楂大蒜天然复合饮料的配方研究[J]. 农产品加工, 2013, (19): 34-35, 39.
WANG WJ, YU YW, GUO YP. The formula research of natural compound beverage processed with hawthorn and garlic [J]. Acad Period Farm Prod Process, 2013, (19): 34-35, 39.
- [10] 钟海雁,李忠海,王纯荣,等. 卷丹保健饮料的研制[J]. 中南林业学院学报, 2003, 23(1): 28-31.
ZHONG HY, LI ZH, WANG CR, et al. The technology of tiger lily healthcare drinks [J]. J Centr South Forest Univ, 2003, 23(1): 28-31.
- [11] 贾庆超,梁艳美. 模糊数学评价结合响应面法优化枸杞鸡枞菌复合饮料配方[J]. 中国酿造, 2021, 40(4): 115-120.
JIA QC, LIANG YM. Optimization of *Lycium barbarum* and *Termitomyces albinus* compound beverage formula by fuzzy mathematics evaluation combined with response surface methodology [J]. China Brew, 2021, 40(4): 115-120.
- [12] 何欣,俞彭欣,张玲瑜,等. 模糊数学综合评价法优化红枣奶饮料的生产配方[J]. 中国酿造, 2019, 38(6): 165-170.
HE X, YU PX, ZHANG LY, et al. Optimization of production formula of jujuba milk beverage by fuzzy mathematics comprehensive evaluation method [J]. China Brew, 2019, 38(6): 165-170.
- [13] 张春玉,徐晓升,王然. 模糊数学评价与响应面结合优化番石榴酸乳发酵工艺[J]. 中国酿造, 2019, 38(8): 193-198.
ZHANG CY, XU XS, WANG R. Optimization of fermentation process of guava yogurt using fuzzy mathematic evaluation combined with response surface methodology [J]. China Brew, 2019, 38(8): 193-198.
- [14] 周笑梨,卢颖,朱坤珑,等. 刺梨果渣多糖的发酵制备工艺优化及其抗氧化性研究[J]. 食品研究与开发, 2019, 40(14): 25-29.
ZHOU XL, LU Y, ZHU KL, et al. Optimization of polysaccharide from *Rosa roxburghii* trapp pomace by fermentation and its antioxidant activity [J]. Food Res Dev, 2019, 40(14): 25-29.
- [15] 阮美娟,徐怀德. 软饮料工艺学[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2013.
RUAN MJ, XU HD. Soft drink technology [M]. Beijing: China Light Industry Press, 2013.
- [16] LIAO F, WEN RD, YANG L, et al. Oil tea soup formula optimization based on orthogonal test and fuzzy mathematics sensory evaluation [J]. J Food Sci Eng, 2017, 7(10): 435-442.
- [17] 雷文平,吴诗敏,李彩虹,等. 响应面法优化凝固型发酵椰奶工艺[J]. 中国酿造, 2019, 38(2): 212-216.
LEI WP, WU SM, LI CH, et al. Process optimization of set-style fermented coconut milk by response surface methodology [J]. China Brew,

- 2019, 38(2): 212–216.
- [18] YI JY, HOU CH, BI JF, *et al.* Novel combined freeze-drying and instant controlled pressure drop drying for restructured carrot-potato chips: Optimized by response surface method [J]. *J Food Quality*, 2018, 281(39): 1–13.
- [19] 李煦, 徐美, 吴玉文, 等. 超声波-微波协同辅助提取碱蓬多糖及抗氧化性分析[J]. *食品研究与开发*, 2019, 40(15): 43–49.
- LI X, XU M, WU YW, *et al.* Optimization of ultrasound-microwave assisted extraction of polysaccharides from *Suaeda salsa* and its antioxidation properties [J]. *Food Res Dev*, 2019, 40(15): 43–49.
- [20] CLARKE HJ, MANNION DT, O'SULLIVAN MG, *et al.* Development of a headspace solid-phase microextraction gas chromatography mass spectrometry method for the quantification of volatiles associated with lipid oxidation in whole milk powder using response surface methodology [J]. *Food Chem*, 2019, 292(15): 75–80.
- [21] ZHANG Y, ZHANG LY, VENKITASAMY C, *et al.* Improving the flavor of microbone meal with flavourzyme by response surface method [J]. *J Food Proc Eng*, 2020, 42(4): 13040–13049.
- [22] YANG S, LEE K. Optimisation of extraction conditions for terpenoids in *Schizandra chinensis* Baillon using the response surface method [J]. *Flavour Frag J*, 2020, 35(5): 492–503.
- [23] 黄天, 韩之皓, 郭帅, 等. 益生菌山药饮料发酵工艺优化及其冷藏稳定性[J]. *食品工业科技*, 2019, 40(15): 129–133.
- HUANG T, HAN ZH, GUO S, *et al.* Optimization of fermentation process and cold storage stability of probiotic yam beverage [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2019, 40(15): 129–133.
- [24] 万茵, 王登骅, 梁玉禧, 等. 响应曲面法优化米曲霉 NCUF414 低盐发酵芝麻粕酱工艺[J]. *南昌大学学报(自然科学版)*, 2019, 43(5): 465–471.
- WAN Y, WANG DX, LIANG YX, *et al.* Optimization low-salt sauce of fermented sesame dregs with *Aspergillus oryzae* NCUF414 by response surface methodology [J]. *J Nanchang Univ (Nat Sci Ed)*, 2019, 43(5): 465–471.
- [25] 李婷婷, 陈雪, 程涛, 等. 基于响应面法优化酿酒酵母培养体系[J]. *中国酿造*, 2020, 39(11): 126–131.
- LI TT, CHEN X, CHENG T, *et al.* Optimization of *Saccharomyces cerevisiae* culture system based on response surface method [J]. *China Brew*, 2020, 39(11): 126–131.

(责任编辑: 于梦娇 张晓寒)

作者简介



贾庆超, 硕士, 副教授, 主要研究方向为食品研究与开发。
E-mail: someone0803@163.com