

一种芜根柠檬复合饮料的研发及配方优化

魏宇,蔡雪梅,彭毅秦,乔明锋*,邓静,吴华昌

(四川旅游学院,烹饪科学四川省高等学校重点实验室,四川成都 610100)

摘要:为研制芜根柠檬复合饮料并优化其配方,选取芜根添加量、柠檬添加量、果葡糖浆添加量为变量,通过单因素、Box-Behnken 响应面设计实验,以模糊数学感官和理化指标的综合品质评分为响应值,进行配方优化。实验结果表明:各单因素影响的主次顺序:柠檬添加量(B) > 果葡糖浆添加量(C) > 芜根添加量(A),最优配方为:芜根添加量 19.49%、柠檬添加量 19.26%,果葡糖浆添加量 19.34%,调配出的芜根复合饮料综合评分最高,综合评分预测值为 0.8109 分,验证实验综合评分为 (0.8132 ± 0.042) 分,与预测值基本一致,其酸甜适度,口感柔和,风味最佳。通过响应面分析建立的多项回归方程的总分预测模型和综合品质评价中相应指标权重,理论上可对相应指标项目实现动态监测。实验结果为芜根复合饮料的工业化生产提供一定的理论依据和指导作用。

关键词:芜根柠檬复合饮料,Box-Behnken 设计,模糊感官,综合品质评价

Development and Formulation Optimization of a Compound Beverage of *Brassica rapa* L. with Lemon

WEI Yu, CAI Xue-mei, PENG Yi-qin, QIAO Ming-feng*, DENG Jing, WU Hua-chang

(Cuisine Science Key Laboratory of Sichuan Province, Sichuan Tourism University, Chengdu 610100, China)

Abstract: In order to develop compound beverage of *Brassica rapa* L. with lemon and optimize its formula, the experimental design selected the addition of the compound *Brassica rapa* L., lemon and the fructose syrup as variables. The single factor experiment combined with Box-Behnken design response surface experiments were used to optimize the formula. The comprehensive quality scores of the fuzzy mathematical senses and physical and chemical indicators were the response values. The results showed that the order of influence of each single factors was: The addition of lemon (B) > The addition of fructose syrup (C) > The addition of *Brassica rapa* L. (A). The optimal formula were: The *Brassica rapa* L. addition 19.49%, lemon 19.26% and fructose syrup 19.34%. Under these conditions, the comprehensive score of compound beverage of *Brassica rapa* L. with lemon was the highest with predicted value 0.8109 score, while the validation value was (0.8132 ± 0.042) score. The beverage was moderately sweet and sour, soft in taste with the best flavor. The prediction model of multiple regression equations by response surface analysis and the weight of corresponding indexes in comprehensive quality evaluation could realize dynamic monitoring of corresponding index items in theory. The experimental results provided some theoretical basis for the industrial production of compound *Brassica rapa* L. beverage and played a guiding role to some extent.

Key words: compound beverage of *Brassica rapa* L. with Lemon; Box-Behnken design; fuzzy sense; comprehensive quality evaluation

中图分类号: TS275.5

文献标识码: B

文章编号: 1002-0306(2020)06-0142-08

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2020.06.024

引文格式: 魏宇,蔡雪梅,彭毅秦,等.一种芜根柠檬复合饮料的研发及配方优化[J].食品工业科技,2020,41(6):142-148,154.

芜根(*Brassica rapa* L.)又名芜菁,高原特色农作物,外形多呈扁圆形,味道甘甜,富含维生素、蛋白质等多种营养成分,素有“高原人参”的美誉。其开胃消食、味甘性温、清热解毒、滋补增氧,具有广阔的食

用价值^[1]。

现阶段,国内外关于芜根的研究较少,其主要集中在对比研究、芜根提取物、芜根药性的研究。如 Zia-ur-Rehman 等^[2]对芜根的煮制方式与萝卜进行

收稿日期:2019-05-00

作者简介:魏宇(1996-),男,本科,研究方向:食品科学与工程,E-mail:1019422835@qq.com。

* 通讯作者:乔明锋(1985-),男,博士,副研究员,研究方向:食品化学与农产品加工,E-mail:mfqiao@163.com。

基金项目:四川省科技厅科技产业扶贫项目(2017NFP0073);川菜发展研究中心开放基金项目(CC19Z11)。

了对比研究;张旭等^[3]对川西藏区芫根的化学成分和抗氧化活性进行了研究;吕明等^[4]采用微波提取芫根多糖;杨永东^[5]研究发现芫根提取物具有抗缺氧、提高免疫力、抗辐射等活性。但目前,芫根的主要利用仍处在饲料、烹饪原料等粗加工阶段,因此提供芫根加工新途径和对其手段进行优化对于提升芫根的利用率和附加值就显得尤为重要。

目前,刘晔峰^[6]发现芫根的辛辣味是由于其含有硫代葡萄糖苷^[7],有机酸预煮法可有效祛除其辛辣味;格桑曲珍等^[8]发现扁圆形芫根的辛辣味要比圆锥形芫根的淡,更有适合研发成饮料。芫根有开发成饮料的价值,但仅以芫根为原料调配出的饮料口感不佳,而柠檬气味芳香,口感酸爽^[9],使用柠檬复配芫根饮料不仅能掩蔽芫根中的辛辣味,还能赋予饮料更加独特的口感,提高大众对芫根饮料的接受程度。因此本文采用 Box-Behnken 响应面法,在单因素实验的基础上,以芫根、柠檬、果葡糖添加量为自变量,以模糊感官和理化指标的综合评分为响应值,对芫根柠檬复合饮料配方进行优化,以期对芫根饮料的工业化生产提供一定的理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

新鲜芫根 川西藏区白玉县;新鲜柠檬 成都市龙泉驿区永辉超市;F55 型果葡糖浆、抗坏血酸钠、山梨酸钾、羧甲基纤维素钠 均为食用级,购于郑州卓研生物科技有限公司;苯酚、亚铁氰化钾、乙酸锌等 均为分析纯,购于成都科百瑞有限公司。

DC-P3 新型全自动测色色差仪 北京辰泰克技术有限公司;753 紫外可见分光光度计 上海优谱通用科技有限公司;ZD-2 型自动电位滴定仪 北京仪电科学仪器股份有限公司;PAL-1 数显手持糖度计 日本爱拓设备有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 基础配方 取 500 mL 饮用水,按照其百分质量添加 20% 芫根、15% 柠檬、18% 果葡糖、0.2% CMC-Na、0.1% 抗坏血酸钠;0.2% 山梨酸钾。

1.2.2 工艺流程

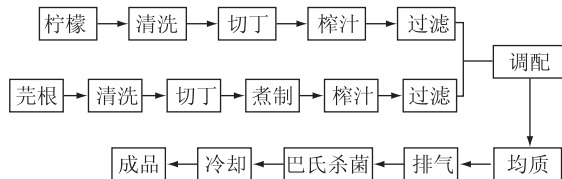


图1 复合饮料工艺流程图

Fig.1 The process flow chart of the compound beverage

1.2.3 操作要点 选取新鲜无病虫害的圆盘形芫根,洗净、沥干、去皮,切成 1 cm³ 左右的方块。采用有机酸溶液预煮的方法,祛除芫根辛辣味后,沥干、称量。选取新鲜的柠檬,洗净、沥干、去皮、除核、称量,与芫根混合后与饮用水按照质量比 1:2 打浆,用 300 目尼龙滤网反复过滤 3 次后备用。将处理后的芫根、柠檬与果葡糖浆、CMC-Na、山梨酸钾、抗坏血酸钠等搅拌调配在压力为 18 MPa 均质机^[10]中均质 2

次,在 85 ℃ 恒温水浴锅中,保持 15 min,趁热灌装、密封,冷却得到成品。

1.2.4 复合饮料配方优化

1.2.4.1 单因素实验 选择芫根添加量、柠檬添加量、果葡糖浆添加量三个因素进行五水平的单因素实验。在基础配方的条件下,分别选取芫根添加量 15.0%、17.5%、20.0%、22.5%、25.0%;柠檬添加量 8%、12%、16%、20%、24%;果葡糖浆添加量为 10%、13%、16%、19%、22% 进行单因素实验,检测其理化指标。

1.2.4.2 Box-Behnken 响应面设计 在单因素实验基础上,选择适当的芫根、柠檬、果葡糖浆添加量范围,采用 3 因素 3 水平设计表(见表 1)配制芫根柠檬复合饮料,通过因素间的交互作用,优化配方。

表1 因素水平编码表

Table 1 The factors and levels of coded form

因素	水平		
	-1	0	1
A 芫根添加量(%)	17.5	20.0	22.5
B 柠檬添加量(%)	16	20	24
C 果葡糖浆添加量(%)	16	19	22

1.2.5 测定方法

1.2.5.1 理化指标测定 pH 测定参照 GB 500.237-2016《食品 pH 的测定》电位计法;可溶性固形物参照 GB/T 12143-2008《饮料通用分析方法》折光法;透光率采用紫外分光光度计法^[11];总酸参考 GB/T 12456-2008《食品中总酸的测定》,以柠檬酸计;总糖参考 GB 5009.7-2016《食品中还原糖的测定》的蒽酮比色法^[12];色差测定^[13]参考 JJG 595-2002《测色色差计检定规程测定》。

1.2.5.2 感官评价方法 采用定量描述性感官评价,挑选 20 名(10 男和 10 女)有感官评鉴经验的学生组成感官评定小组,依据张浩^[14]的方法进行培训,并依照 GB/T 31121-2014《果蔬汁类及其饮料》中感官要求项目制定感官评价表(见表 2)。

1.2.5.3 模糊感官模型 因素集是以影响评判对象的各种因素为元素所组成的一个集合^[15]。用 U₁ 表示香气、U₂ 表示色泽、U₃ 表示滋味、U₄ 表示口感、U₅ 表示组织形态,因素集表示为 A = { U₁, U₂, U₃, U₄, U₅ }。

评语集是参评小组将因素集中各项目评分结果进行等级划分的集合用集合 V 来表示。将感官项目评分结果划分为优(V₁)、良(V₂)、中(V₃)、差(V₄)4 个等级,表示为 V = { V₁, V₂, V₃, V₄ }。评语集的划分采用 20 分制,16~20 分为优;11~15 分为良;6~10 分为中;0~5 分为差。为降低感官评分差异不明显,取各等级分数的中间值设为该等级得分,即评语集表示为 V = { 18, 13, 8, 3 }。

权重集是由能反映各个感官项目对感官质量的影响程度的权重系数组成的向量组,用 K 表示。实验采用随机调查的方法来确定权重,邀请 20 个同学对芫根柠檬复合饮料的香气、色泽、滋味、口感和组织形态各因素的权重分析。结果(表 3)得出权重集为 K = { 0.15, 0.15, 0.3, 0.3, 0.1 }。

表2 芜根柠檬复合饮料感官品质评分标准

Table 2 Sensory evaluation of compound beverage of *Brassica rapa* L.with lemon

评价维度	评价标准	等级
香气	柠檬香味浓郁,适量芜根味,香味协调	优(16~20分)
	有适量柠檬味和少量芜根味,香味协调	良(11~15分)
	有明显芜根辛辣味,无柠檬香味	中(6~10分)
	有明显刺激性味道,香味不协调	差(0~5分)
色泽	淡乳白色中泛着微黄	优(16~20分)
	淡乳黄色	良(11~15分)
	淡淡的乳白色	中(6~10分)
	乳黄色	差(0~5分)
滋味	有适宜柠檬滋味,回味略有芜根滋味	优(16~20分)
	柠檬味较淡,回味略有芜根味	良(11~15分)
	柠檬味较淡,出现明显芜根味	中(6~10分)
	柠檬味较浓,芜根滋味不明显	差(0~5分)
口感	酸甜适度,风味独特	优(16~20分)
	口感偏甜,无苦涩味	良(11~15分)
	口感偏酸,略有苦涩味	中(6~10分)
	酸甜比失调,有明显酸涩味	差(0~5分)
组织状态	呈半透明,清亮稳定	优(16~20分)
	呈半透明,长时间放置会出现分层	良(11~15分)
	无分层态、呈半透明有少量沉淀	中(6~10分)
	呈不透明、浑浊或分层现象	差(0~5分)

表3 复合芜根柠檬饮料各个因素的权重分析

Table 3 Weight analysis of various factors of the compound beverage *Brassica rapa* L.with lemon

项目	香味	色泽	滋味	口感	组织状态
1	0.1	0.1	0.3	0.4	0.1
2	0.2	0.2	0.3	0.3	0
3	0.1	0.2	0.3	0.3	0.1
4	0.2	0.1	0.3	0.3	0.1
5	0.2	0.2	0.1	0.3	0.2
6	0.2	0.2	0.2	0.3	0.1
7	0.2	0.1	0.3	0.3	0.1
8	0.1	0.2	0.3	0.3	0.1
9	0.2	0.1	0.3	0.4	0.0
10	0.2	0.1	0.3	0.3	0.1
11	0.1	0.1	0.4	0.3	0.1
12	0.2	0.1	0.3	0.3	0.1
13	0.1	0.1	0.4	0.2	0.2
14	0.1	0.3	0.3	0.3	0.0
15	0.2	0.1	0.3	0.3	0.1
16	0.1	0.2	0.3	0.2	0.2
17	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1
18	0.1	0.1	0.4	0.3	0.1
19	0.1	0.2	0.4	0.2	0.1
20	0.2	0.1	0.3	0.3	0.1
平均值	0.15	0.15	0.30	0.30	0.10

将各感官项目的评分结果按照感官表中的等级划分,统计各等级的票数,然后将各不同等级的票数除以评价人数(20),得模糊关系矩阵Y。将质量权

重集K和模糊关系数字矩阵Y合成得到模糊关系评价集 $P=K \times Y$,得到第i个样品的评价结果 $P_i=K \times Y_i$ 。将模糊关系评价集P和评语集矩阵V相乘,得到感官的综合评分矩阵T,即 $T=P \times V$ 。

1.2.6 品质综合评价 评价项目:令芜根柠檬复合饮料的pH为 Q_1 、可溶性固形物含量为 Q_2 、透光率为 Q_3 、总酸为 Q_4 、总糖为 Q_5 、L*为 Q_6 、a*为 Q_7 、b*为 Q_8 、模糊感官得分为 Q_9 。根据实验探索和文献资料^[16],确定指标范围: $Q_1=2.0\sim3.7$, $Q_2=5.0\% \sim 7.8\%$, $Q_3=2.0\% \sim 8.5\%$, $Q_4=0.3\sim0.9\text{ g/kg}$, $Q_5=3\sim9\text{ g/100 g}$, $Q_6=34.0\sim36.9$, $Q_7=1.28\sim3.71$, $Q_8=6.81\sim9.38$, $Q_9=13\sim16$ 。根据线性模型来计算以下隶属度^[17-18],以进行模糊综合评价:

$$p(Q_1)=\begin{cases} 1(Q_1\geqslant3.7) \\ \frac{U_1-2}{3.7-2} & (2<Q_1<3.7) \\ 0(U_1\leqslant2) \end{cases}$$

$$p(Q_2)=\begin{cases} 1(Q_2\geqslant7.8) \\ \frac{Q_2-5}{7.8-5} & (5<Q_2<7.8) \\ 0(Q_2\leqslant5) \end{cases}$$

$$p(Q_3)=\begin{cases} 1(Q_1\geqslant3.7) \\ \frac{U_3-2}{3.7-2} & (2<Q_1<3.7) \\ 0(U_1\leqslant2) \end{cases}$$

$$p(Q_4)=\begin{cases} 1(Q_4\geqslant0.9) \\ \frac{Q_4-0.3}{0.9-0.3} & (0.3<Q_4<0.9) \\ 0(Q_4\leqslant0.3) \end{cases}$$

表4 芜根添加量对复合饮料的影响
Table 4 Effect of the addition of *Brassica rapa* L. on the compound beverage

芜根添加量(%)	15.0	17.5	20.0	22.5	25.0
pH	3.59 ± 0.00 ^c	3.67 ± 0.02 ^d	3.73 ± 0.00 ^c	3.79 ± 0.02 ^b	3.84 ± 0.02 ^a
可溶性固形物(%)	4.53 ± 0.04 ^a	4.30 ± 0.00 ^b	4.17 ± 0.12 ^b	3.97 ± 0.09 ^c	3.60 ± 0.08 ^d
透光率(%)	10.36 ± 0.01 ^c	11.28 ± 0.00 ^d	11.99 ± 0.00 ^c	12.60 ± 0.12 ^b	13.44 ± 0.01 ^a
总酸(g/kg)	0.99 ± 0.00 ^a	0.97 ± 0.02 ^a	0.90 ± 0.00 ^b	0.88 ± 0.02 ^c	0.90 ± 0.00 ^b
总糖(g/100 g)	4.61 ± 0.14 ^a	4.41 ± 0.00 ^b	4.14 ± 0.00 ^c	3.96 ± 0.00 ^d	3.65 ± 0.00 ^c
<i>L</i> [*]	36.87 ± 0.06 ^d	36.99 ± 0.07 ^d	38.59 ± 0.04 ^c	39.53 ± 0.05 ^b	40.84 ± 0.09 ^a
<i>a</i> [*]	1.72 ± 0.25 ^c	2.20 ± 0.17 ^b	2.30 ± 0.23 ^b	2.34 ± 0.08 ^{ab}	2.44 ± 0.07 ^b
<i>b</i> [*]	8.58 ± 0.10 ^a	7.91 ± 0.11 ^b	7.8 ± 0.18 ^{bc}	7.65 ± 0.09 ^c	7.39 ± 0.30 ^d
模糊感官(分)	12.81	13.43	13.46	12.98	12.35
综合得分(分)	0.43	0.49	0.46	0.43	0.42

注:同行不同小写字母代表相同指标差异显著, $P < 0.05$;表5~表6同。

$$p(Q_5) = \begin{cases} 1(Q_5 \geq 9) \\ \frac{Q_5 - 3}{9 - 3} \quad (3 < Q_5 < 9) \\ 0(Q_5 \leq 9) \end{cases}$$
$$p(Q_6) = \begin{cases} 1(Q_6 \geq 36.9) \\ \frac{Q_6 - 34}{36.9 - 34} \quad (34 < Q_6 < 36.9) \\ 0(Q_6 \leq 34) \end{cases}$$
$$p(Q_7) = \begin{cases} 1(Q_7 \geq 3.71) \\ \frac{U_7 - 1.28}{3.71 - 1.28} \quad (1.28 < Q_7 < 3.71) \\ 0(Q_7 \leq 1.28) \end{cases}$$
$$p(Q_8) = \begin{cases} 1(Q_8 \geq 9.38) \\ \frac{Q_8 - 6.81}{9.38 - 6.81} \quad (6.81 < Q_8 < 9.38) \\ 0(Q_8 \leq 6.81) \end{cases}$$
$$p(Q_9) = \begin{cases} 1(Q_9 \geq 16) \\ \frac{Q_9 - 13}{16 - 13} \quad (13 < Q_9 < 16) \\ 0(Q_9 \leq 13) \end{cases}$$

芜根柠檬复合饮料的品质综合评分为:

$$Y = P(Q_1) \times a_1 + P(Q_2) \times a_2 + P(Q_3) \times a_3 + P(Q_4) \times a_4 + P(Q_5) \times a_5 + P(Q_6) \times a_6 + P(Q_7) \times a_7 + P(Q_8) \times a_8 + P(Q_9) \times a_9$$

式中:Y:品质综合评分; a_i :各指标在评价体系中所占的权重,由实践经验及文献确定出,分别为0.05、0.10、0.10、0.05、0.10、0.20、0.05、0.05、0.30。

1.3 数据处理

实验数据处理采用2016版Excel;S-N-K多重比较、方差分析、显著性差异分析采用IBM SPSS Statistics 22.0;响应面设计分析、回归模型的方差分析采用Design-expert.v8.0.6.1;实验均重复三次。

2 结果分析

2.1 复合饮料单因素实验结果分析

2.1.1 芜根添加量的影响 由表4可知,随芜根添加量的增大,复合饮料各特性指标显著变化,其中pH和透光率随添加量的增大呈逐渐升高的趋势,均在添加量为25.0%时达到最大值,分别为3.84和13.44%,透光率相较于添加量最小时增加3.08%;可溶性固形物、总糖均随添加量增大而显著减小,在添加量25%时出现最小值,分别为3.60%、3.65 g/100 g;除*b*^{*}(黄蓝度)值外,*L*^{*}(亮度)、*a*^{*}(红绿度)值均随添加量增大而升高;芜根果肉纯白,当芜根添加量达一定范围时,便使得复合饮料清亮通透,呈半透明状。模糊感官与品质综合得分均为先增大后减小,分别在添加量20.0%、17.5%时取得最大值13.46和0.49分。综上所述,芜根适宜添加量范围为17.5%~22.5%。

2.1.2 柠檬添加量的影响 由表5可知,随柠檬添加

表5 柠檬添加量对复合饮料的影响
Table 5 Effect of the addition of lemon on the compound beverage

柠檬添加量(%)	8	12	16	20	24
pH	4.68 ± 0.00 ^a	4.40 ± 0.00 ^b	4.26 ± 0.00 ^c	4.16 ± 0.00 ^d	4.09 ± 0.00 ^c
可溶性固形物(%)	4.10 ± 0.00 ^a	4.10 ± 0.00 ^a	4.10 ± 0.00 ^a	4.10 ± 0.00 ^a	4.10 ± 0.00 ^a
透光率(%)	20.07 ± 0.00 ^a	11.40 ± 0.00 ^b	6.79 ± 0.00 ^c	4.43 ± 0.00 ^d	3.05 ± 0.00 ^c
总酸(g/kg)	0.44 ± 0.00 ^c	0.64 ± 0.00 ^d	0.84 ± 0.00 ^c	1.02 ± 0.00 ^b	1.21 ± 0.00 ^a
总糖(g/100 g)	4.35 ± 0.01 ^b	4.68 ± 0.00 ^a	4.53 ± 0.00 ^{ab}	4.76 ± 0.00 ^a	4.60 ± 0.00 ^a
<i>L</i> [*]	46.29 ± 0.03 ^a	43.86 ± 0.29 ^b	40.74 ± 0.01 ^c	38.36 ± 0.02 ^d	37.85 ± 0.12 ^c
<i>a</i> [*]	2.68 ± 0.49 ^a	2.40 ± 0.46 ^a	2.39 ± 0.53 ^a	2.45 ± 0.2 ^a	2.51 ± 0.97 ^a
<i>b</i> [*]	6.96 ± 0.31 ^a	7.54 ± 0.35 ^b	8.43 ± 0.42 ^b	8.51 ± 0.02 ^b	8.81 ± 0.36 ^b
模糊感官(分)	12.61	12.89	13.43	14.06	13.24
综合得分(分)	0.55	0.52	0.55	0.59	0.48

表6 果葡糖浆添加量对复合饮料的影响

Table 6 Effect of the addition of fructose syrup on the compound beverage

果葡糖浆添加量(%)	10	13	16	19	22
pH	4.06 ± 0.00 ^a	4.06 ± 0.00 ^a	4.04 ± 0.00 ^b	4.06 ± 0.00 ^a	4.06 ± 0.01 ^a
可溶性固形物(%)	4.17 ± 0.05 ^c	5.17 ± 0.00 ^d	6.20 ± 0.00 ^c	7.20 ± 0.00 ^b	8.03 ± 0.04 ^a
透光率(%)	3.07 ± 0.00 ^c	3.26 ± 0.00 ^d	3.4 ± 0.00 ^c	3.71 ± 0.00 ^b	4.01 ± 0.00 ^a
总酸(g/kg)	1.16 ± 0.00 ^a	1.16 ± 0.01 ^a	1.17 ± 0.01 ^a	1.12 ± 0.00 ^{ab}	1.10 ± 0.01 ^{ab}
总糖(g/100 g)	3.88 ± 0.48 ^c	4.63 ± 0.16 ^d	6.07 ± 0.46 ^c	6.80 ± 0.78 ^b	9.28 ± 1.85 ^a
<i>L</i> [*]	39.25 ± 0.07 ^c	39.07 ± 0.06 ^c	39.22 ± 0.35 ^c	40.19 ± 0.11 ^b	40.54 ± 0.12 ^a
<i>a</i> [*]	3.28 ± 1.02 ^a	3.69 ± 0.64 ^a	3.73 ± 0.48 ^a	3.47 ± 0.24 ^a	3.51 ± 0.46 ^a
<i>b</i> [*]	7.95 ± 0.24 ^b	8.51 ± 0.52 ^b	8.40 ± 0.34 ^b	9.73 ± 0.24 ^a	9.53 ± 0.26 ^a
模糊感官(分)	12.59	13.39	14.10	14.03	14.01
综合得分(分)	0.41	0.55	0.65	0.75	0.70

表7 复合饮料感官评价得票统计

Table 7 The sensory evaluation votes statistics of the compound beverage

序号	香味				色泽				滋味				口感				组织状态			
	V ₁	V ₂	V ₃	V ₄	V ₁	V ₂	V ₃	V ₄	V ₁	V ₂	V ₃	V ₄	V ₁	V ₂	V ₃	V ₄	V ₁	V ₂	V ₃	V ₄
1	9	9	2	0	14	4	2	0	9	7	3	1	9	5	5	1	11	9	0	0
2	5	9	6	0	6	13	1	0	4	14	2	0	8	10	2	0	10	9	1	0
3	6	11	3	0	9	10	1	0	5	12	1	2	7	10	3	0	9	11	0	0
4	9	10	1	0	13	6	1	0	3	14	1	2	8	10	2	0	6	14	0	0
5	7	11	2	0	5	14	1	0	3	14	2	1	7	11	2	0	11	8	1	0
6	13	7	0	0	12	7	1	0	12	7	1	0	11	7	2	0	13	6	1	0
7	10	8	2	0	10	9	1	0	11	6	1	2	11	6	3	0	11	8	1	0
8	6	13	1	0	13	7	0	0	10	9	1	0	8	9	3	0	11	7	2	0
9	6	14	0	0	6	14	0	0	11	8	1	0	6	14	0	0	11	7	1	1
10	11	7	2	0	11	9	0	0	9	10	1	0	10	6	4	0	13	6	1	0
11	9	9	2	0	9	10	1	0	12	7	1	0	8	9	3	0	10	9	1	0
12	9	9	2	0	9	10	1	0	8	10	1	1	9	9	2	0	11	9	0	0
13	14	5	1	0	12	8	0	0	9	9	2	0	6	11	3	0	8	11	1	0
14	15	5	0	0	9	11	0	0	5	14	1	0	7	11	2	0	10	7	3	0
15	12	5	3	0	12	7	1	0	10	6	3	1	9	8	2	1	14	4	2	0
16	12	7	1	0	13	6	1	0	11	6	3	0	12	6	2	0	9	9	2	0
17	11	8	1	0	15	4	1	0	6	10	3	1	6	12	1	1	11	7	2	0

量的增大,可溶性固形物、总糖含量及 a^* 值变化趋势不明显,但透光率及总酸含量发生显著变化。其中pH和透光率随添加量的增大呈下降的趋势并在添加量24%达到最小值,分别为4.09和3.05%;柠檬呈金黄色,含有果胶^[19]、柠檬酸和苹果酸和天然护色剂 $V_c^{[20]}$,故随着柠檬添加量的增加,总酸、总糖和 b^* 的呈上升的趋势。模糊感官与综合得分总体均呈先增后减的趋势,均在添加量为20%时出现极值,分别为14.06和0.59分。综上所述,柠檬适宜添加量范围为16%~24%。

2.1.3 果葡糖浆添加量的影响 由表6可知,pH、总酸含量随果葡糖浆添加量增加变化不显著;可溶性固形物主要包括可溶性酸、糖、果胶等物质^[21],因此果葡糖浆添加量越高,可溶性固形物含量越大,当添加量为22%时,其含量最大为8.03%;果葡糖浆是由果糖和葡萄糖混合而成的一种糖浆,果葡糖浆含量越高,总糖含量也就越高,同时,由于果葡糖浆溶解性较强,添加果葡糖浆的饮料透明度高^[22],因此当果

葡糖浆添加至最大量22%时,透光率和 L^* 值也最大,分别为4.01%、40.54。模糊感官呈先显著上升后缓慢下降的趋势,综合得分整体呈上升趋势,分别在添加量为16%和19%时取得最大值14.10和0.75分。综上所述,果葡糖浆适宜添加量范围为16%~22%。

2.2 响应面试验结果分析

2.2.1 感官评价结果 对三因素三水平的Box-Behnken响应面的17个实验组的感官结果进行评价,其评价结果不求和,进行统计,结果见表7。

2.2.2 模糊感官评价结果 结合表7,以1号样品评价方面—香气为例,9人评分为16~20分,9人评分为11~15分,2人评分为6~10分,0人评分为0~5分。统计每个评分等级的票数,然后用4个评分等级的票数除以20(参与评价的人数),则可得到 $U_1 = \{0.45, 0.45, 0.1, 0\}$,同理可得 $U_2 = \{0.7, 0.2, 0.1, 0\}$, $U_3 = \{0.45, 0.35, 0.15, 0.05\}$, $U_4 = \{0.45, 0.25, 0.25, 0.05\}$, $U_5 = \{0.55, 0.45, 0, 0\}$ 。将得到的 U_1, U_2, U_3, U_4, U_5 转换成数字矩阵 Y_1 ,同理可得 $Y_2, Y_3, \dots, Y_{17}$ 。

$$Y_1 = \begin{vmatrix} 0.45 & 0.45 & 0.1 & 0 \\ 0.7 & 0.2 & 0.1 & 0 \\ 0.45 & 0.35 & 0.15 & 0.05 \\ 0.45 & 0.25 & 0.25 & 0.05 \\ 0.55 & 0.45 & 0 & 0 \end{vmatrix} \dots$$
$$Y_{17} = \begin{vmatrix} 0.55 & 0.4 & 0.05 & 0 \\ 0.75 & 0.2 & 0.05 & 0 \\ 0.3 & 0.5 & 0.15 & 0.05 \\ 0.3 & 0.6 & 0.05 & 0.05 \\ 0.55 & 0.35 & 0.1 & 0 \end{vmatrix}$$

根据模糊数学综合评分模型的原理,结合权重集 $K = \{0.15, 0.15, 0.3, 0.3, 0.1\}$,用矩阵乘法计算各样品的评价结果。即有: $P_1 = Y_1 \times K$

$$P_1 = \begin{vmatrix} 0.45 & 0.45 & 0.1 & 0 \\ 0.7 & 0.2 & 0.1 & 0 \\ 0.45 & 0.35 & 0.15 & 0.05 \\ 0.45 & 0.25 & 0.25 & 0.05 \\ 0.55 & 0.45 & 0 & 0 \end{vmatrix} \times |0.15, 0.15, 0.3, 0.3, 0.1| = |0.4975, 0.3225, 0.15, 0.03|,$$

同理可得: $P_2, P_3, \dots, P_{17}$ 。
 $P_2 = |0.3125, 0.5700, 0.1175, 0.0000|, \dots, P_{17} = |0.4300, 0.4550, 0.0850, 0.03|,$

模糊数学综合总分由 $T = P_i (i \text{ 为样品编号}) \times V^T$ ($\{18, 13, 8, 3\}^T$),经计算第 1 个饮料样品的感官评分:

$$T_1 = |0.4975, 0.3225, 0.1500, 0.030| \times \{18, 13, 8, 3\}^T = 14.4375$$

同理可得, $T_2 = 13.975, T_3 = 14.8, T_4 = 14.2, T_5 = 13.8875, T_6 = 15.7, T_7 = 14.9375, T_8 = 15.5375, T_9 = 15.875, T_{10} = 15.625, T_{11} = 14.9875, T_{12} = 14.7375, T_{13} = 14.8625, T_{14} = 15.9, T_{15} = 14.8, T_{16} = 14.2, T_{17} = 14.425$ 。

2.2.3 Box-Behnken 实验设计与结果 根据 Box-Behnken design 原理,产生 17 个实验组,根据对应编码组合进行配制,根据综合评价方程算出各组响应值,结果见表 8。使用 Design-Expert8.0.6.1 软件对表 8 的数据,建立二次多元回归模型,得到 Y (综合得分)与单因素芜根添加量(A)、柠檬添加量(B)、果葡糖浆添加量(C)之间的 2 次多项式回归模型为:

$$Y_{\text{(综合得分)}} = 0.80 - 0.036A - 0.051B + 0.045C + 0.01AB + 0.068AC + 0.032BC - 0.07A^2 - 0.14B^2 - 0.11C^2。$$

2.2.4 模型的建立与显著性 方差分析结果见表 9。模型方差分析结果显示, $P < 0.0001$,说明试验建立的二次多项回归方程模型达到极显著水平, P (失拟项) $= 0.0797 > 0.05$,表明在 0.05 水平上不显著, $R^2 = 0.9759, R^2_{\text{adj}} = 0.9449$,说明此模型可以解释 94.49% 的响应值变化,只有总变异的 5.51% 不能用该模型解释,由此说明模型拟合程度好,能够客观预测和分析复合饮料芜根添加量(A)、柠檬添加量(B)、果葡糖浆添加量(C)的变化规律。由表 9 还可知 A、B、C 以及交互项 AC、二次项 A^2, B^2, C^2 影响极显著,表明各自变量与综合评分之间不是简单的线性关系,而是具有一定的交互影响。因子 AB、BC 对综合评分影响不显著 ($P > 0.05$)。依据 F 值的大小比较,确定各

表 8 Box-Behnken 设计及其结果

Table 8 Design and results of Box-Behnken

试验号	A	B	C	综合评分(分)
1	0	1	-1	0.43
2	1	-1	0	0.59
3	-1	0	-1	0.66
4	1	1	0	0.48
5	1	0	-1	0.49
6	0	0	0	0.79
7	0	1	1	0.60
8	0	0	0	0.78
9	0	0	0	0.82
10	0	0	0	0.79
11	-1	0	1	0.60
12	-1	-1	0	0.72
13	-1	1	0	0.57
14	0	0	0	0.82
15	0	-1	-1	0.57
16	1	0	1	0.70
17	0	-1	1	0.61

因素对复合饮料影响的主次顺序为:柠檬添加量(B) > 果葡糖浆添加量(C) > 芜根添加量(A)。

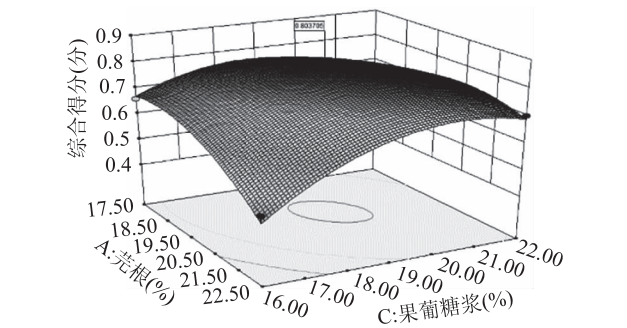


图 2 芜根添加量与果葡糖浆添加量的响应面交互图
Fig.2 The interaction diagrams of the addition of Brassica rapa L and fructose syrup

根据 Design-expert 得到的因子间响应面交互图(图 2)可知,响应面坡度较陡,直观说明芜根添加量(A)、果葡糖浆添加量(C)对综合评分影响较大,两因素间存在较好的交互作用。在前期芜根添加量和果葡糖浆的增加对复合饮料的综合得分增长的影响较大,随着两者添加量的增大,交互影响对复合饮料的综合得分增长的影响减弱。

2.2.5 最优配方的预测与验证 通过 Box-Behnken 实验所得结果和二次多项回归方程,拟合得到芜根柠檬复合饮料配方中各单因素的最优参数为:芜根添加量(A)为 19.49%、柠檬添加量(B)为 19.26%,果葡糖浆添加量(C)为 19.34%,此条件下,得到的综合评价的预测值为 0.8109 分。为验证响应面模型的合理性和有效性,对预测最优配方进行验证实验,在此配方条件下进行 5 次平行实验,得芜根柠檬复合饮料的综合评分为 (0.8132 ± 0.0042) 分,与预测值基本一致,证明了该模型的合理性和有效性。

表9 回归模型的方差分析结果

Table 9 Result of variance analysis regression model

方差来源	平方和	自由度	F 值	P 值	显著性
模型	0.24	9	31.47	<0.0001	**
A	0.012	1	13.80	0.0075	**
B	0.020	1	23.55	0.0019	**
C	0.016	1	19.20	0.0032	**
AB	0.0002	1	0.33	0.5841	
AC	0.018	1	21.52	0.0024	**
BC	0.0041	1	4.92	0.0621	
A ²	0.024	1	28.07	0.0011	**
B ²	0.075	1	89.11	<0.0001	**
C ²	0.053	1	63.02	<0.0001	**
残值	0.0058	7			
失拟项	0.0046	3	4.89	0.0797	
纯误差	0.0012	4			
总离差	0.24	16			
R ²	0.9759				
R ² _{adj}	0.9449				
C.V.(%)	4.47				

注: * 代表差异显著($P < 0.05$); ** 代表差异极显著($P < 0.01$)。

3 结论

实验通过设计选取芫根添加量、柠檬添加量、果葡糖浆添加量为影响变量,通过单因素、Box-Behnken 响应面实验,以模糊数学感官和理化指标的综合品质评分为响应值,对配方进行优化。使用 Design-expert8.0.6.1 软件,建立二次多项式回归模型,根据方差分析结果显示:该回归模型极显著($P < 0.0001$),失拟项($P > 0.05$)不显著, $R^2_{\text{adj}} = 0.9449$,说明此模型该模型拟合程度好,可以解释 94.49% 的响应值变化。柠檬添加量(B)、果葡糖浆添加量(C)、芫根添加量交互果葡糖浆添加量(AC)均为差异性显著。各单因素影响的主次顺序为:柠檬添加量(B) > 果葡糖浆添加量(C) > 芫根添加量(A)。复合饮料最优配方:芫根添加量为 19.49%、柠檬添加量为 19.26%,果葡糖浆添加量为 19.34%,综合评分预测值最高,验证实验与预测值基本一致,表明采用 Box-Behnken 响应面法优化复合芫根柠檬饮料配方的可行性和准确性。按此条件下调配出的复合芫根柠檬饮料酸甜适度,口感柔和,风味最佳,实验结果为芫根复合饮料的工业化生产提供一定的指导作用,且通过响应面建立多项回归方程的总分预测模型和综合品质评价中相应指标权重,可对相应指标项目实现动态监测。

参考文献

- [1] 王守邦.青海东部农业区芫根丰产栽培技术[J].现代农业,2012(9):28-31.
- [2] Zia-ur-Rehman M, Choudary J A, Elsegood M R, et al. A facile synthesis of novel biologically active 4-hydroxy-N'-(benzylidene)-2H-benzo[e][1,2]thiazine-3-carbohydrazide 1,1-dioxides[J]. European Journal of Medicinal Chemistry,

2009,44(3):1311-1316.

- [3] 张旭,张华芳,刘阳,等.川西高原芫根化学成分及抗氧化活性研究[J].食品科技,2019,44(2):104-105.
- [4] 吕明,黄山,江春艳.微波法提取西藏芫根多糖的工艺研究[J].中国林副特产,2011(1):19-21.
- [5] 杨永东.藏药蔓菁多糖的制备、组分分析及抗急性低压缺氧损伤作用的研究[D].成都:成都中医药大学,2013.
- [6] 刘晔峰.以西藏芫根为主成分的抗缺氧功能食品研究[D].杭州:浙江大学,2012.
- [7] Sivakumar G, Aliboni A, Bacchetta L. HPLC screening of anti-cancer sulforaphane from important European Brassica species[J]. Food Chemistry, 2007, 104(4): 1761-1764.
- [8] 格桑曲珍,马红梅,普布,等.西藏芫根水提物理化特性及功能食品研究[J].安徽农业科学,2014(17):5626-5627.
- [9] Čugura, T, Pleština M, Kovačević D B, et al. Influence of storage on quality and sensorial properties of sports drink with lemon juice and isomaltulose[J]. Croatian Society of Food Technologists Biotechnologists & Nutritionists, 2014: 110-116.
- [10] 徐辉艳.果汁非酶褐变及其影响因素的研究进展[J].农产品加工:学刊,2011(4):103-106.
- [11] 罗合春,魏文龙,李玲玲.壳聚糖絮凝澄清胭脂萝卜汁的工艺研究[J].广东化工,2010,37(6):45-47.
- [12] 王启军.食品分析实验[M].北京:化学工业出版社,2011:47-48.
- [13] 师莹,陈娅,符宜谊,等.色差计在食品品质检测中的应用[J].食品工业科技,2009(5):373-375.
- [14] 张浩.基于模糊数学家常味烧烤酱配方优化及挥发性风味成分研究[J].中国调味品,2018,43(10):67-74.
- [15] 王娟.红枣杜仲复合饮料的配方优化及其风味物质分析[J].食品工业科技,2019,40(2):221-228.

(下转第 154 页)

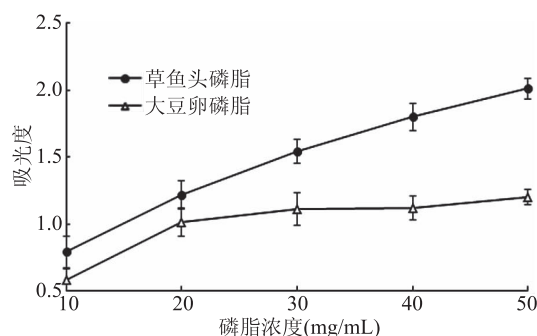


图7 磷脂的还原能力

Fig.7 Reducing capacity of phospholipids

磷脂纯度 $84.20\% \pm 0.65\%$, 磷脂得率为 $3.03\% \pm 0.06\%$ 。草鱼头磷脂以 PC 为主, 脂肪酸组成以 PUFA 为主, 特别是含有一定量的 DHA 和 EPA。体外抗氧化能力测定中, 草鱼头磷脂的 $\cdot\text{OH}$ 清除能力和还原力都优于大豆磷脂。通过本文中醇提法制备的草鱼头磷脂营养价值较高, 具有一定开发前景, 或可将其应用在磷脂补充剂、抗衰老保健品等方面。

参考文献

- [1] Madrigal S, limb S, Rodriguez G, et al. Optimization of the preparation technology of astaxanthin microcapsule of crayfish crayfish[J]. Journal of Functional Foods, 2010, 2(2): 99-106.
- [2] 梁鹏, 许艳萍, 程文健, 等. 大黄鱼鱼卵磷脂对小鼠脂质代谢的调节作用[J]. 现代食品科技, 2016, 32(11): 1-7.
- [3] Xun Ang, Chen Hong, Xiang Ji-Qian, et al. Preparation and functionality of lipase-catalysed structured phospholipid—areview[J]. Trends in Food Science & Technology, 2019, 88: 373-383.
- [4] 魏玉强, 李景伟, 毕宇霖, 等. 大豆磷脂理化性质及其在猪饲料中的应用[J]. 畜牧与饲料科学, 2016(5): 16-18.
- [5] Israelachvili J. Intermolecular and surface forces[J]. Food Hydrocolloids, 2011, 25(7): 4913-4923.
- [6] 宋迁红, 赵永锋. 我国淡水鱼加工产业浅析[J]. 科学养鱼, 2014(9): 12-17.
- [7] 王友谊, 张虹, 戴志远. 直接进样电喷雾串联质谱法测定草鱼肌肉组织中磷脂[J]. 分析化学, 2012, 40(6): 893-898.
- [8] 张椿, 吴昊, 周旋, 等. 超声微波协同萃取鸡蛋卵磷脂的工艺优化[J]. 食品研究与开发, 2018, 39(7): 42-46.
- [9] 宋范范, 张康逸, 杨妍, 等. 离子液体超声辅助提取磷脂酰肌醇[J]. 食品工业科技, 2017(18): 155-159.
- [10] 崔益玮, 李诗言, 王珏, 等. 水产加工副产物中磷脂和鱼油的分离及脂质组学研究[J]. 水产学报, 2017, 41(6): 827-835.
- [11] 邹舟, 王琦, 于刚, 等. 鲢鱼各部位磷脂组分及脂肪酸组成分析[J]. 食品科学, 2014, 35(24): 105-109.

- [12] 宋玉卿, 王腾宇, 周晓丹, 等. 超临界 CO_2 条件下大豆粉末磷脂氢化工艺优化[J]. 食品科学, 2010, 31(24): 218-221.
- [13] 陆云华, 曹丽萍, 李茜, 等. 薄膜分散法制备乌索酸豆磷脂纳米粒及其理化性质研究[J]. 时珍国医国药, 2015(1): 104-106.
- [14] 李云燕, 胡传荣. 试验设计与数据处理[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005: 79-107.
- [15] SN/T 3851-2014 出口食品中磷脂的测定比色法[S].
- [16] 闫蕊, 赵桦. 黄花油点草总黄酮超声提取工艺的响应面优化及抗氧化性分析[J]. 食品工业科技, 2018, 39(10): 190-196, 203.
- [17] 谌银强, 汤尚文, 黄其茗, 等. 烟熏液对咸鸭蛋抗氧化和质构特性影响的研究[J]. 食品科技, 2018, 43(11): 70-74.
- [18] 安红. 磷脂化学及应用技术[M]. 北京: 中国计量出版社, 2006: 49.
- [19] 陈文娟, 陈丽娇. 大黄鱼鱼卵磷脂提取及磷脂成分分析[J]. 福建农林大学学报, 2012, 41(4): 498-502.
- [20] 张丽, 卢航, 刘迪, 等. 超声波辅助提取鱼脑磷脂的研究[J]. 大连海洋大学学报, 2014, 29(1): 66-69.
- [21] 李贞. 卵磷脂的生物学功能及其应用[J]. 畜牧与饲料科学, 2016, 37(2): 94-95.
- [22] 邓杨敏, 李冰麟, 董文博, 等. 磷脂酰乙醇胺的酶促合成及底物抑制动力学[J]. 化工进展, 2017, 36(7): 2601-2606.
- [23] Judde A, Villeneuve P, Rossignol - Castera A, et al. Antioxidant effect of soy lecithins on vegetable oil stability and their synergism with tocopherols[J]. Journal of the American Oil Chemists' Society, 2003, 80(12): 1209-1215.
- [24] 李继荣, 唐顺之, 牟肖男, 等. 蛋黄卵磷脂中鞘磷脂的分离与结构鉴定[J]. 广东化工, 2016, 22(43): 206-207.
- [25] 刘汝萃, 王彩华, 肖晶, 等. 鱼油的提取、富集与应用研究进展[J]. 粮食与食品工业, 2017(5): 9-12.
- [26] 曹万新, 孟橘, 田玉霞. DHA 的生理功能及应用研究进展[J]. 中国油脂, 2011, 36(3): 1-4.
- [27] 黄进, 杨国宇, 李宏基, 等. 抗氧化剂作用机制研究进展[J]. 自然杂志, 2004(2): 74-78.
- [28] Saito H, Ishihara K. Antioxidant activity and active sites of phospholipids as antioxidant[J]. Journal of the American Oil Chemists' Society, 1997, 74(12): 1531-1536.
- [29] Cortie C H, Else P L. An antioxidant-like action for non-peroxidisable phospholipids using ferrous iron as a peroxidation initiator[J]. Biochimica et Biophysica Acta, 2015, 1848(6): 1303-1307.
- [30] 王梓博, 万欣, 王文倩, 等. 鲢鱼头磷脂对菜籽油抗氧化作用分析[J]. 武汉轻工大学学报, 2017, 36(3): 27-32.
- [31] 陈建中, 葛水莲, 咎立峰, 等. 茼蒿总黄酮抗氧化活性及稳定性研究[J]. 食品科技, 2015, 40(8): 217-222.

(上接第 148 页)

- [16] 赵雪梅, 廖诚成, 丁捷, 等. 挤压型速冻青裸鱼面品质评价模型的建立[J]. 食品科技, 2018(2): 189-195.
- [17] Huang J J, Tzeng G H, Ong C S. A novel algorithm for uncertain portfolio selection[J]. Applied Mathematics & Computation, 2006, 173(1): 350-359.
- [18] Vercher E, Bermúdez J D, Segura J V. Fuzzy portfolio optimization under downside risk measures[J]. Fuzzy Sets & Systems, 2007, 158(7): 769-782.

- [19] 傅曼琴, 肖更生, 陈于院, 等. 改进型 Clevenger 装置提取柠檬果皮精油及成分分析[J]. 食品科学, 2017, 38(2): 170-175.
- [20] 崔砾砾, 傅强, 黄斌, 等. 柠檬果汁碳酸饮料体系稳定性研究[J]. 饮料工业, 2018(2): 32-37.
- [21] 聂继云, 李静, 徐国锋, 等. 水果可溶性固形物含量测定适宜取汁方法的筛选[J]. 保鲜与加工, 2014(5): 62-64.
- [22] 蒋丽萍, 张静. 果葡糖浆的特征及其在食品中的应用[J]. 新疆畜牧业, 2009(3): 21-26.