

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2024.04.009

周芳, 崔钟鑫, 翁小兰, 等. 基于模糊数学的木姜叶柯玫瑰茄草本饮料制备 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2024, 46(4): 82-91.

基于模糊数学的木姜叶柯玫瑰茄本草饮料制备

周芳^{1,2}, 崔钟鑫¹, 翁小兰¹, 陈嘉^{1,2}

1. 西南大学 食品科学学院, 重庆 400715; 2. 川渝共建特色食品重庆市重点实验室, 重庆 400715

摘要: 木姜叶柯与玫瑰茄的味觉特性限制了两种原料在食品工业中的广泛使用. 为拓展木姜叶柯和玫瑰茄的应用, 以木姜叶柯和玫瑰茄为主要原料, 采用浸提法制备木姜叶柯及玫瑰茄浸提液, 通过对饮料气味、色泽、组织状态和滋味进行权重分析, 建立了木姜叶柯玫瑰茄本草饮料模糊数学感官评价方法; 利用单因素试验和正交试验结合模糊数学感官评价法, 确定了木姜叶柯玫瑰茄本草饮料的最佳配方, 并对最佳产品的质量指标(可溶性固形物含量、总酸及总多酚质量浓度、澄清度)进行了测定. 结果表明: 木姜叶柯玫瑰茄本草饮料的最佳配方为木姜叶柯浸提液添加量 3%, 玫瑰茄浸提液添加量 4%, 柠檬酸添加量 0.03%, 复配甜味剂(甜度 200)添加量 0.03%. 通过该配方制得的饮料质地均匀透亮、颜色呈玫红色、酸甜适宜, 具有木姜叶柯和玫瑰茄特有的香味, 其理化指标测定结果为: 可溶性固形物含量 $0.16\% \pm 0.01\%$, 总多酚质量浓度 107.42 ± 1.90 mg/L, 总酸质量浓度 0.30 ± 0.01 g/L, 澄清度 $73.62\% \pm 1.35\%$.

关键词: 木姜叶柯; 玫瑰茄; 模糊数学; 感官评价; 本草饮料

中图分类号: TS275.4

文献标志码: A

文章编号: 1673-9868(2024)04-0082-10

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Preparation of *Lithocarpus litseifolius* and Roselle Herbal Beverage Based on Fuzzy Mathematics

ZHOU Fang^{1,2}, CUI Zhongxin¹, WENG Xiaolan¹, CHEN Jia^{1,2}

1. College of Food Science, Southwest University, Chongqing 400715, China;

2. Chongqing Key Laboratory of Speciality Food Co-Built by Sichuan and Chongqing, Chongqing 400715, China

Abstract: The flavor characteristics of *Lithocarpus litseifolius* and Roselle (*Hibiscus sabdariffa* Linn.) limit their extensive use in the food industry. In order to expand their applications, *L. litseifolius* and Roselle were used as raw materials to make herbal beverage in this study. *L. litseifolius* and Roselle extracts were prepared. The weight analysis was conducted for the odor, color, clarity, and taste in the sensory evaluation, and a fuzzy mathematical sensory evaluation method for the herbal beverage was established. The optimum formula of the beverage was determined by single factor test and orthogonal test

收稿日期: 2023-05-06

基金项目: 重庆市技术创新与应用发展专项重点项目(CSTB2022TIAD-KPX0091); 重庆市体育局体育科研攻关项目(C202211).

作者简介: 周芳, 硕士, 讲师, 主要从事食品科学与工程方向研究.

通信作者: 陈嘉, 博士, 讲师.

combined with fuzzy mathematical sensory evaluation method, and the quality indexes of the optimal product (soluble solid, total acid and total polyphenol content, clarification degree) were determined. The results showed that the optimal formula of the herbal beverage was 3% of the *L. litseifolius* extract, 4% of the Roselle extract, 0.03% of the citric acid, and 0.03% of the compound sweetener (sweetness level was 200). The beverage prepared by this formula has uniform and transparent texture, rose-red color, suitable sweet and sour taste, with unique fragrance of *L. litseifolius* and Roselle. The physical and chemical indexes of the herbal beverage were: soluble solid content $0.16\% \pm 0.01\%$, total polyphenol content 107.42 ± 1.90 mg/L, total acidity content 0.30 ± 0.01 g/L, and clarification $73.62\% \pm 1.35\%$. This study provided a reference for the further development and utilization of *L. litseifolius* and Rosell.

Key words: *Lithocarpus litseifolius*; roselle (*Hibiscus sabdariffa* Linn.); fuzzy mathematical sensory; sensory evaluation; herbal drink

木姜叶柯 [*Lithocarpus litseifolius* (Hance) Chun] 又称多穗石柯、多穗柯, 是壳斗科石柯属植物, 主要生长在我国南方山区, 自然资源丰富。木姜叶柯集茶、糖、药 3 种功能于一身, 有降血糖、降血脂、抗氧化、抗肿瘤和抗过敏等作用^[1-3]。玫瑰茄 (*Hibiscus sabdariffa* Linn.) 又称洛神花、芙蓉茄、山茄子^[4], 系锦葵科木槿属一年生草本植物, 起源于西非至南亚地区, 现今普遍生长于热带和亚热带地区, 在我国台湾、福建、广东、山西、江西等地均有种植^[5]。现代研究表明, 玫瑰茄除具有消渴解暑、降低疲劳感等功效外, 还有降压、抗氧化、抗菌、护肝、降血脂等多种药理作用^[6-7]。玫瑰茄富含功能性成分, 作为食品原料有较好的开发利用前景。同时玫瑰茄中提取的天然色素还可作为食品工业的着色、调味剂^[8-9], 广泛应用于冷热饮料和果酱生产。

木姜叶柯浸泡后有独特的甜味, 甜味主要来源于其中的三叶苷、根皮苷、新橙皮苷二氢查尔酮等^[10]。木姜叶柯的甜味起甜速度慢, 持续时间长(甜味挂舌), 有后苦味, 限制了其在食品工业中的应用。玫瑰茄花萼中含大量的有机酸(柠檬酸、木槿酸、酒石酸等), 质量分数高达 15%~30%^[11], 其水浸液酸度过高, 普通消费者难以接受。虽然木姜叶柯与玫瑰茄都具有较多的健康功效^[12], 但其特殊的味觉特性限制了两种原料的广泛使用, 仅少量被开发为色素及甜味剂^[13], 其他则以原料的形式加工成代用茶。本研究以木姜叶柯和玫瑰茄为主要原料, 开发具有健康功效的植物饮料。为了规避两种原料的味觉特点对产品研发过程中感官评价的影响, 本研究采用正交试验结合模糊数学感官评价法, 确定木姜叶柯玫瑰茄本草饮料的最佳配方及工艺, 并对产品的质量指标进行测定, 以期为木姜叶柯和玫瑰茄深度开发利用提供借鉴。

1 材料与方法

1.1 试验材料

木姜叶柯购自重庆梁平; 玫瑰茄购自云南昆明; 复配甜味剂(B-200 型, 蔗糖 200 倍甜度, 主要成分为三氯蔗糖、阿斯巴甜、纽甜、甜菊糖、葡萄糖), 湖北海顺达食品科技有限公司; 柠檬酸, 正宏生物科技有限公司; 其余试验所用药品、试剂均为分析纯。

1.2 试验方法

1.2.1 木姜叶柯玫瑰茄本草饮料制作工艺

首先将木姜叶柯与玫瑰茄按一定条件制备为浓缩浸提液, 再将浸提液按一定比例与软化水、甜味剂、酸味剂等辅料调配混合, 经灌装、杀菌、冷却后即得饮料成品。

1.2.2 木姜叶柯浸提液制备

木姜叶柯与软化水按料液比 1:10(W/V)混合, 95℃水浴锅中保温浸提 45 min 后过滤, 重复上述步骤, 将两次滤液混合即得木姜叶柯浸提液。所得木姜叶柯浸提液的可溶性固形物含量为 2.90%, 多酚质量浓度为 1 595 mg/L, 总酸质量浓度为 1.50 g/L。

1.2.3 玫瑰茄浸提液制备

挑选无腐烂的玫瑰茄干花, 按料液比 1:20(W/V)加入软化水, 70℃水浴锅中浸提 2.5 h 后过滤, 即

得玫瑰茄浸提液. 所得玫瑰茄浸提液的可溶性固形物含量为 2.13%, 多酚质量浓度为 1765 mg/L, 总酸的质量浓度为 6.65 g/L.

1.2.4 饮料调配单因素试验

在预试验的基础上, 确定产品的基础配方为: 4%(V/V)的木姜叶柯浸提液, 6%(V/V)的玫瑰茄浸提液, 0.03%(W/V)的柠檬酸及 0.025%(W/V)的复配甜味剂. 在此基础上, 分别变动木姜叶柯浸提液、玫瑰茄浸提液、柠檬酸及复配甜味剂的添加量, 以考察各因素对饮料成品感官风味的影响. 各因素波动范围分别为: 木姜叶柯浸提液添加量 3%, 4%, 5%, 6%, 7%(V/V); 玫瑰茄浸提液添加量 2%, 4%, 6%, 8%, 10%(V/V); 柠檬酸添加量 0.02%, 0.03%, 0.04%, 0.05%(W/V); 复配甜味剂添加量: 0.01%, 0.02%, 0.03%, 0.04%, 0.05%(W/V).

1.2.5 正交试验设计

在单因素试验的基础上, 以感官评分为评价指标, 以木姜叶柯浸提液添加量(A)、玫瑰茄浸提液添加量(B)、柠檬酸添加量(C)和复配甜味剂添加量(D)作为正交试验的变量因素, 进行 $L_9(3^4)$ 正交试验^[14]. 正交试验因素与水平设计见表 1.

表 1 正交试验因素水平表

水平	因素			
	A. 木姜叶柯浸提液/%	B. 玫瑰茄浸提液/%	C. 柠檬酸/%	D. 复配甜味剂/%
1	3	4	0.02	0.01
2	4	6	0.03	0.02
3	5	8	0.04	0.03

1.2.6 感官评价方法

选择 10 名有食品专业知识背景的人员组成此次感官评价的品评小组, 对木姜叶柯玫瑰茄复合饮料的气味、色泽、组织状态及滋味进行评分. 所有评定人员在参与感官评定前 10 h 内不得吃辛辣食物, 不得吸烟、喝酒^[15]. 每品评一个样品, 评定人员必须用清水漱口, 品评两个样品中间需间隔 10 min. 品评完全部样品后, 统计分析所有感官评定表, 感官质量评分标准见表 2.

表 2 木姜叶柯玫瑰茄本草饮料感官质量评分标准

气味	色泽	组织状态	滋味	总分
具有木姜叶柯和玫瑰茄特有的茶香和花香, 且整体香气协调	具有玫红色饮料色泽, 色泽明亮均匀	无沉淀析出, 汁液澄清透亮, 质地均匀	酸甜适宜, 滋味醇厚, 回味甘甜, 无苦涩味	优秀 (80—100)
木姜叶柯、玫瑰茄香气较协调, 但香味略淡	具有红褐色饮料色泽, 色泽较均匀明亮	无沉淀析出, 汁液较澄清, 质地均匀	略酸或略甜, 滋味平和, 有回味, 稍有苦涩味	良好 (60—80)
木姜叶柯、玫瑰茄香味淡, 整体香味稍不协调	具有深红色饮料色泽, 色泽不明亮或略偏暗	有少许沉淀, 汁液透明度差	酸甜不协调, 滋味寡淡, 回味差, 苦涩味明显	一般 (40—60)
混合香气不协调, 或无明显香味, 甚至存在其他异味	颜色很淡或极深, 色泽不均匀	有少许沉淀, 汁液浑浊, 不透明	过甜或极酸, 滋味和回味很差, 苦涩味显著	较差 (40 以下)

1.2.7 模糊数学感官评价模型

1.2.7.1 确定饮料的因素集

饮料的因素集即反映饮料感官品质指标的集合, 气味、色泽、组织状态和滋味 4 个因素能够决定木姜叶柯玫瑰茄本草饮料的品质, 因此该因素集以 $V=\{v_1, v_2, v_3, v_4\}$ 表示, 其中 v_1 代表气味; v_2 代表色泽;

v_3 代表组织状态; v_4 代表滋味.

1.2.7.2 确定饮料的评语集

评语集指对每个因素的评价的集合,木姜叶柯玫瑰茄本草饮料的评语集就是表示其感官质量的评语的集合.该评语评定域用 $U=\{u_1,u_2,u_3,u_4\}$ 表示,其中 u_1 表示优秀; u_2 表示良好; u_3 表示一般; u_4 表示较差.

1.2.7.3 确定饮料的权重集

权重集指各因素在食品整体感官品质中的重要程度,用 $X=\{x_1,x_2,x_3,x_4\}$ 表示,其中 x_1,x_2,x_3,x_4 分别对应因素集中的 v_1,v_2,v_3,v_4 (气味,色泽,组织状态,滋味).在进行模糊数学评价时,权重分配方案的合理性直接影响感官评价结果的正确性.本试验采取用户调查法确定各因素的权重,请 10 位专业的感官评价人员对反映木姜叶柯玫瑰茄本草饮料感官品质的 4 个因素在整体感官中的权重进行打分,总分为 100 分,将每个因素所得的平均分除以总分 100 得到该因素的权重^[16],权重矩阵 $X=\{0.2,0.2,0.2,0.4\}$.

1.2.7.4 确定模糊矩阵 R 和模糊转换

首先统计感官评价小组关于木姜叶柯玫瑰茄本草饮料各因素的评价数据,再将每个试样各级评语集的得票数除以 10 建立模糊矩阵 R ,将确定的本草饮料的权重集 X 乘以模糊矩阵 R ,由此得到每个木姜叶柯玫瑰茄本草饮料成品对感官质量因素的综合隶属度 $Y_j=X\times R_j$ (j 为 1~9),按照表 2 中的分值确定评价等级集 $K=\{100,80,60,40\}$,再依据感官综合评分公式 $H_j=Y_j\times K$,得出木姜叶柯玫瑰茄本草饮料的最终评分.

1.2.8 理化指标测定

可溶性固形物含量采用手持糖度仪测定;饮料中多酚质量浓度采用 Folin-Ciocalteu 比色法测定^[17],总酸质量浓度参照 GB 12456-2021《食品安全国家标准食品中总酸的测定》,采用 pH 计电位滴定法测定;澄清度以 660 nm 处饮料的透光率 $T(\%)$ 表示^[18].

1.2.9 数据处理

所有试验均进行 3 次重复试验.试验结果用 SPSS 软件进行处理,采用平均值±标准偏差表示.图表采用 Excel 2016 及 Origin 2021 进行制作.

2 结果与分析

2.1 单因素试验结果

2.1.1 木姜叶柯浸提液添加量对饮料感官得分的影响

木姜叶柯浸提液的添加量会对饮料的香气和滋味造成影响,木姜叶柯浸提液添加量过低,木姜叶柯的茶香味不能体现,且根皮苷等营养成分质量浓度过低;浸提液添加量过高,木姜叶柯茶苦涩味明显,影响饮料口感.由图 1 可知,木姜叶柯添加量对饮料整体的感官得分影响并不显著,但感官评价人员提出木姜叶柯添加量较多的组,其饮料茶香味浓厚但有明显的苦涩味.感官评分差异不显著的原因可能是受评价人员主观因素及感官分析方法的影响,在计算得分时采取的是将 4 个质量指标得分相加之后求均值的方法,这一方法得到的是整体的感官得分,不能体现木姜叶柯浸提液添加量对 4 个质量指标各自的影响.因此,综合考虑所有因素,在后续试验中选取木姜叶柯浸提液添加量 3%,4%,5%(V/V)进行正交试验.

2.1.2 玫瑰茄浸提液添加量对饮料感官得分的影响

玫瑰茄浸提液添加量对饮料感官得分的影响见图 2.由图 2 可以看出,添加 6% 的玫瑰茄提取液得到的饮料口感最佳;当玫瑰茄提取液添加量小于 6% 时,饮料的感官得分随添加比例的增加而升高,超过 6% 之后,感官评分开始下降,这是由于玫瑰茄提取液酸味明显、色泽较深,加入过多会影响本草饮料的整体口感,感官得分也因此下降.故后续实验选取玫瑰茄提取液添加量 4%,6%,8%(V/V)进行正交试验.

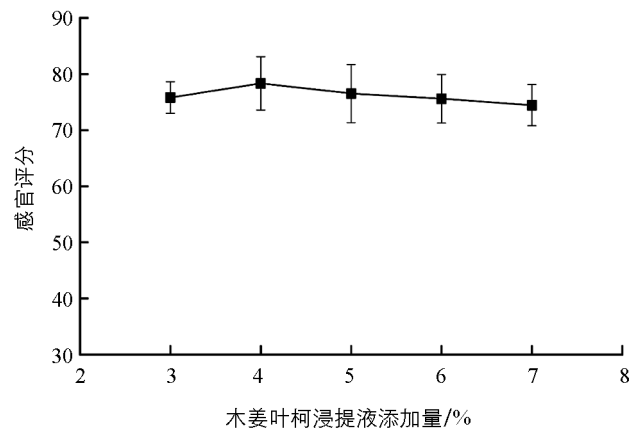


图 1 木姜叶柯浸提液添加量对本草饮料感官得分的影响

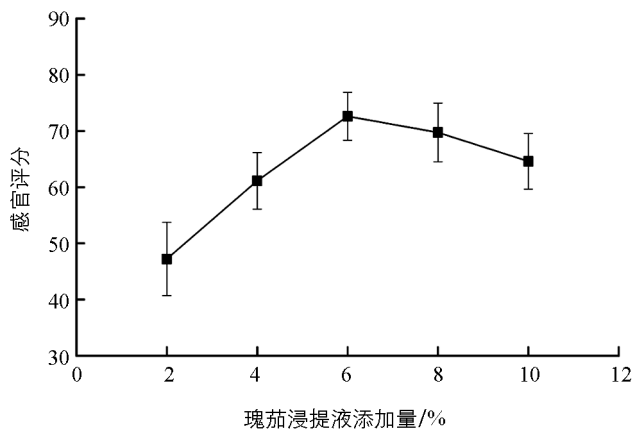


图 2 玫瑰茄浸提液添加量对本草饮料感官得分的影响

2.1.3 柠檬酸添加量对饮料感官得分的影响

柠檬酸添加量对饮料感官得分的影响见图 3. 由图 3 可以看出, 在饮料中添加 0.05% 的柠檬酸时, 饮料酸度过高, 致使本草饮料的酸味和甜味不协调, 感官得分较低; 添加量为 0.02% 和 0.03% 时, 感官得分较高. 因此选取柠檬酸添加量 0.02%, 0.03%, 0.04% (W/V) 进行正交试验.

2.1.4 复配甜味剂添加量对饮料感官得分的影响

传统饮料通常含有大量的糖分, 这些糖分不仅会导致肥胖、糖尿病等健康问题, 还会影响饮料的口感和质量. 相比之下, 甜味剂的使用可以减少糖分的添加, 从而降低热量和碳水化合物的含量, 有利于控制体重和血糖. 因此, 试验选用复配甜味剂来调剂饮料的风味. 从图 4 可以看出, 复配甜味剂添加量为 0.02% 时, 饮料酸甜适宜, 感官得分较高; 添加量为 0.04% 时, 饮料甜度过高, 感官得分下降. 因此, 本实验选取复配甜味剂添加量为 0.01%, 0.02%, 0.03% (W/V) 进行正交试验.

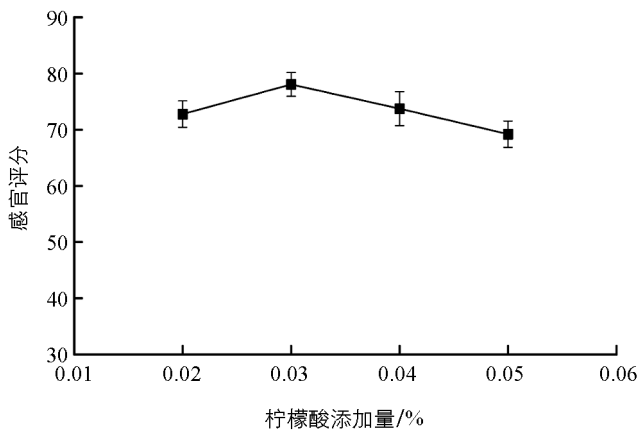


图 3 柠檬酸添加量对本草饮料感官得分的影响

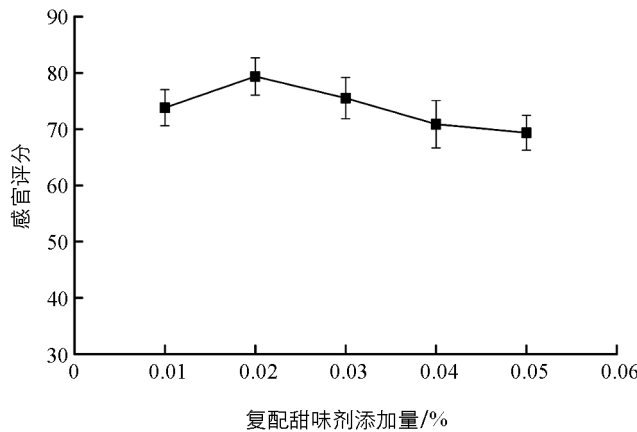


图 4 复配甜味剂添加量对本草饮料感官得分的影响

2.2 感官评定结果

统计 $L_9(3^4)$ 正交试验中感官评价人员对 9 个处理的评分结果, 并计算其标准偏差, 所得结果见表 3.

表 3 感官评分结果

	试验号								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
平均得分	70.2	69.8	70.5	71.9	67.2	72.7	66.9	69.3	60.3
标准偏差	8.35	8.69	9.79	9.63	9.51	8.90	9.78	9.84	9.97

从表 3 可以看出, 每个样品得分的标准偏差较大, 说明在正交试验中, 各感官评价人员对不同处理水平样品间的评分并不集中, 感官评分结果离散程度大, 若采用直接求均值的方法计算结果, 则不能完全体

现各组间的差异.

模糊数学感官评判法是应用模糊关系合成原理, 将边界不清、不易定量的因素定量化的一种综合评价方法. 该方法综合考虑了所有评定因素, 在很大程度上消除了感官评定人员主观因素的影响, 因而能得到较为客观的结果^[19]. 因此, 对正交试验得到的感官评分结果进行模糊化处理, 统计 10 位评价人员对不同处理水平样品的 4 个指标的打分情况, 得到影响样品质量的 4 个指标在各个评价等级的票数, 结果见表 4.

表 4 模糊数学处理感官评分结果不同处理样品感官评分投票统计

试验号	气味				色泽				组织状态				滋味			
	u_1	u_2	u_3	u_4	u_1	u_2	u_3	u_4	u_1	u_2	u_3	u_4	u_1	u_2	u_3	u_4
1	2	4	2	2	3	4	2	1	7	3	0	0	2	4	2	2
2	3	5	2	0	2	7	1	0	6	4	0	0	2	4	3	1
3	4	4	1	1	3	6	1	0	5	4	1	0	3	2	3	2
4	4	4	1	1	5	4	1	0	7	3	0	0	1	5	4	0
5	3	1	4	2	3	5	2	0	6	3	1	0	0	1	7	2
6	3	4	1	2	5	4	1	0	7	3	0	0	2	4	1	3
7	3	4	1	2	2	5	3	0	4	4	2	0	1	5	1	3
8	3	2	2	3	2	5	3	0	3	5	2	0	1	5	2	2
9	3	3	2	2	2	0	6	2	1	5	4	0	0	4	1	5

注: u_1 , 优秀; u_2 , 良好; u_3 , 一般; u_4 , 较差.

从表 4 可以看出, 评价人员受各自主观因素的影响, 对试验样品的气味、色泽、组织状态和滋味等指标的给分存在差异, 且差异较大. 故在表 4 的基础上建立模糊数学感官综合评判模型, 对感官评分结果进行处理, 降低感官评价试验误差.

2.3 建立模糊矩阵

将表 4 中每个试验样品对应的数据分别除以评价小组人员总数 10, 得到 9 个模糊矩阵. 以试样 1 为例, 在评价饮料的气味时, 有 2 人选择优秀, 4 人选择良好, 2 人选择一般, 2 人选择较差; 则 $R_{\text{气味}} = \{0.2, 0.4, 0.2, 0.2\}$. 同理, $R_{\text{色泽}} = \{0.3, 0.4, 0.2, 0.1\}$; $R_{\text{组织状态}} = \{0.7, 0.3, 0, 0\}$; $R_{\text{滋味}} = \{0.2, 0.4, 0.2, 0.2\}$. 将各质量因素计算的结果写成矩阵, 即为 1 号试样的模糊矩阵. 1~9 号样品试验结果如下:

$$R_1 = \begin{bmatrix} 0.2 & 0.4 & 0.2 & 0.2 \\ 0.3 & 0.4 & 0.2 & 0.1 \\ 0.7 & 0.3 & 0 & 0 \\ 0.2 & 0.4 & 0.2 & 0.2 \end{bmatrix}$$
$$R_2 = \begin{bmatrix} 0.3 & 0.5 & 0.2 & 0 \\ 0.2 & 0.7 & 0.1 & 0 \\ 0.6 & 0.4 & 0 & 0 \\ 0.2 & 0.4 & 0.3 & 0.1 \end{bmatrix}$$
$$R_3 = \begin{bmatrix} 0.4 & 0.4 & 0.1 & 0.1 \\ 0.3 & 0.6 & 0.1 & 0 \\ 0.5 & 0.4 & 0.1 & 0 \\ 0.3 & 0.2 & 0.3 & 0.2 \end{bmatrix}$$
$$R_4 = \begin{bmatrix} 0.4 & 0.4 & 0.1 & 0.1 \\ 0.5 & 0.4 & 0.1 & 0 \\ 0.7 & 0.3 & 0 & 0 \\ 0.1 & 0.5 & 0.4 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned} R_5 &= \begin{bmatrix} 0.3 & 0.1 & 0.4 & 0.2 \\ 0.3 & 0.5 & 0.2 & 0 \\ 0.6 & 0.3 & 0.1 & 0 \\ 0 & 0.1 & 0.7 & 0.2 \end{bmatrix} \\ R_6 &= \begin{bmatrix} 0.3 & 0.4 & 0.1 & 0.2 \\ 0.5 & 0.4 & 0.1 & 0 \\ 0 & 0.7 & 0.3 & 0 \\ 0.2 & 0.4 & 0.1 & 0.3 \end{bmatrix} \\ R_7 &= \begin{bmatrix} 0.3 & 0.4 & 0.1 & 0.2 \\ 0.2 & 0.5 & 0.3 & 0 \\ 0.4 & 0.4 & 0.2 & 0 \\ 0.1 & 0.5 & 0.1 & 0.3 \end{bmatrix} \\ R_8 &= \begin{bmatrix} 0.3 & 0.2 & 0.2 & 0.3 \\ 0.2 & 0.5 & 0.3 & 0 \\ 0.3 & 0.5 & 0.2 & 0 \\ 0.1 & 0.5 & 0.2 & 0.2 \end{bmatrix} \\ R_9 &= \begin{bmatrix} 0.3 & 0.3 & 0.2 & 0.2 \\ 0.2 & 0 & 0.6 & 0.2 \\ 0.1 & 0.5 & 0.4 & 0 \\ 0 & 0.4 & 0.1 & 0.5 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

2.4 模糊转换及计算综合隶属度

依据模糊数学矩阵转化原理, 将权重集 X 乘以模糊矩阵 R 计算每个本草饮料样品的综合隶属度, 表示为 $Y_j=X\times R_j$ (j 为 $1\sim 9$), 1 号饮料样品的感官质量因素的综合隶属度评价结果计算如下:

$$Y_1=X\times R_1=\begin{bmatrix} 0.2 & 0.2 & 0.2 & 0.4 \end{bmatrix}\times\begin{bmatrix} 0.2 & 0.4 & 0.2 & 0.2 \\ 0.3 & 0.4 & 0.2 & 0.1 \\ 0.7 & 0.3 & 0 & 0 \\ 0.2 & 0.4 & 0.2 & 0.2 \end{bmatrix}=\{0.32, 0.38, 0.16, 0.14\}$$

依照上述处理方法可以得到 2~9 号样品的综合隶属度评价结果(表 5).

表 5 综合隶属度评价结果

Y_j	评价结果集	Y_j	评价结果集
Y_1	{0.32, 0.38, 0.16, 0.14}	Y_6	{0.24, 0.46, 0.14, 0.16}
Y_2	{0.30, 0.48, 0.18, 0.04}	Y_7	{0.22, 0.46, 0.16, 0.16}
Y_3	{0.36, 0.36, 0.18, 0.10}	Y_8	{0.20, 0.44, 0.22, 0.14}
Y_4	{0.36, 0.42, 0.20, 0.02}	Y_9	{0.12, 0.32, 0.28, 0.28}
Y_5	{0.24, 0.22, 0.42, 0.12}		

2.5 模糊数学感官综合评分

依据公式 $H_j=Y_j\times K$, 计算每个试验样品的感官综合得分, 分值越高表明该样品越受消费者喜爱, 其整体综合品质更好. 以 1 号样品为例, 其感官综合得分计算如下:

$$\begin{aligned} H_1 &= Y_1 \times K = \begin{bmatrix} 0.32 & 0.38 & 0.16 & 0.14 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 100 \\ 80 \\ 60 \\ 40 \end{bmatrix} = \\ &0.32 \times 100 + 0.38 \times 80 + 0.16 \times 60 + 0.14 \times 40 = 77.60 \end{aligned}$$

同理可以得到：

$$H_2=0.30\times100+0.48\times80+0.18\times60+0.04\times40=80.80$$
$$H_3=0.36\times100+0.36\times80+0.18\times60+0.10\times40=79.60$$
$$H_4=0.36\times100+0.42\times80+0.20\times60+0.02\times40=82.40$$
$$H_5=0.24\times100+0.22\times80+0.42\times60+0.12\times40=71.60$$
$$H_6=0.24\times100+0.46\times80+0.14\times60+0.16\times40=75.60$$
$$H_7=0.22\times100+0.46\times80+0.16\times60+0.16\times40=74.80$$
$$H_8=0.20\times100+0.44\times80+0.22\times60+0.14\times40=74.00$$
$$H_9=0.12\times100+0.32\times80+0.28\times60+0.28\times40=65.60$$

2.6 正交试验结果

以模糊数学感官综合评分为指标， $L_9(3^4)$ 水平正交试验结果见表 6.

表 6 $L_9(3^4)$ 正交试验结果

试验号	因素				感官综合评分
	A	B	C	D	
	木姜叶柯浸提液 体积分数/%	玫瑰茄浸提液 体积分数/%	柠檬酸 质量浓度/%	复配甜味剂 质量浓度/%	
1	1	1	1	1	77.60
2	1	2	2	2	80.80
3	1	3	3	3	79.60
4	2	1	2	3	82.40
5	2	2	3	1	71.60
6	2	3	1	2	75.60
7	3	1	3	2	74.80
8	3	2	1	3	74.00
9	3	3	2	1	65.60
k_1	238.00	234.80	227.20	214.80	
k_2	229.60	226.40	228.80	231.20	
k_3	214.40	220.80	226.00	236.00	
K_1	79.33	78.27	75.73	71.60	
K_2	76.53	75.47	77.06	77.07	
K_3	71.47	73.60	75.33	78.67	
极差 R	7.86	4.67	1.73	7.07	

由表 6 可知，4 个质量因素对木姜叶柯玫瑰茄本草饮料的感官综合评分影响顺序为 $A>D>B>C$ ，即对本草饮料影响最大的是木姜叶柯浸提液，其次是复配甜味剂，然后是玫瑰茄浸提液，最后是柠檬酸。饮料甜度对感官评分的影响最大，在一定范围内增加饮料甜度更能得到消费者的认可，这与陈逸等^[20]的研究结果一致。木姜叶柯浸提液添加量对感官评分的影响大于复配甜味剂，这可能是由于木姜叶柯浸提液中含有三叶苷、根皮苷、新橙皮苷二氢查尔酮等高甜度成分^[4]，导致浸提液本身的甜度较高。另一方面，木姜叶柯浸提液中可溶性物质和呈味物质赋予了其鲜、甜、苦、涩等丰富的滋味^[21]，对感官风味的影响更为多元化，因此影响权重更高。当木姜叶柯浸提液添加量过高时，会导致饮料出现更多的后苦味和涩味。因此，饮料中使用了一定量的复配甜味剂，提升饮料的甜度与饱满程度，加速甜味呈现时间，掩蔽木姜叶柯本身甜味呈现慢、有后苦味等问题。玫瑰茄花萼中含有大量的有机酸^[11]及花色苷类物质^[22]，浸提液酸感强烈，并且会影响饮料的颜色，因此其对饮料感官得分的影响大于柠檬酸。玫瑰茄浸提液及柠檬酸的添加可以降低木姜叶柯本身的甜腻感，掩盖苦涩味，进一步提高饮料的口感品质。

采用正交试验方法所得本草饮料最佳工艺配方为 $A_1B_1C_2D_3$ ，即木姜叶柯浸提液添加量 3%，玫瑰茄浸提液添加量 4%，柠檬酸添加量 0.03%，复配甜味剂添加量 0.03%。根据此配方做 3 次重复试验后对该结果进行验证，感官评定结果见表 7。

表 7 验证试验感官评定结果

试验号	气味				色泽				组织状态				滋味			
	u_1	u_2	u_3	u_4	u_1	u_2	u_3	u_4	u_1	u_2	u_3	u_4	u_1	u_2	u_3	u_4
X_1	3	7	0	0	8	2	0	0	8	1	1	0	3	4	2	1
X_2	3	6	1	0	7	3	0	0	9	1	0	0	4	3	2	1
X_3	4	5	1	0	7	2	1	0	8	1	1	0	3	4	3	0

注： u_1 ，优秀； u_2 ，良好； u_3 ，一般； u_4 ，较差。

将验证试验结果进行模糊转换，得到 3 次试验对感官质量因素的综合隶属度评价结果，分别为 {0.50, 0.36, 0.10, 0.04}，{0.54, 0.32, 0.10, 0.04}，{0.50, 0.32, 0.18, 0}，经计算可得感官综合评分分别为 86.40, 87.20, 86.40，对其求平均得 86.67，相对标准偏差为 0.50%，重复性好。正交试验中最高得分为 82.40，利用最佳配方调配的饮料得分为 86.67，表明运用模糊数学和正交试验相结合的方法得到的木姜叶柯玫瑰茄本草饮料的最佳配方准确可靠。

2.7 最终产品理化指标测定结果

通过单因素试验、正交试验及模糊数学感官综合评判法得到了木姜叶柯玫瑰茄本草饮料的最佳配方，在此配方的基础上，对木姜叶柯玫瑰茄本草饮料的可溶性固形物、多酚和总酸等指标的质量浓度进行测定，以此作为反映饮料品质的质量指标。经测定，木姜叶柯玫瑰茄本草饮料的可溶性固形物含量为 $0.16\% \pm 0.01\%$ ，总酚质量浓度为 $107.42 \pm 1.90 \text{ mg/L}$ ，总酸质量浓度为 $0.30 \pm 0.01 \text{ g/L}$ ，澄清度 $73.62\% \pm 1.35\%$ 。饮料产品见图 5。



图 5 木姜叶柯玫瑰茄本草饮料

安全性方面，饮料中复配甜味剂的添加量仅为 0.03%，各主要成分(三氯蔗糖、阿斯巴甜、纽甜、甜菊糖)均在国家标准规定的最大使用量范围内。玫瑰茄属于普通食品，每日食用量无要求。木姜叶柯为新食品原料，推荐食用量每日不超过 10 g(以干品计)，按照饮料配方换算得出每日饮用量不超 6.7 L，消费者日常饮用很难超出此量。因此，木姜叶柯玫瑰茄本草饮料是非常安全的。需要注意的是，由于木姜叶柯为新食品原料，按照相关规定应在产品标签中标注“婴幼儿不宜食用”。

3 结论

本研究通过单因素试验和正交试验，以模糊数学感官评分为评价标准，确定了木姜叶柯玫瑰茄本草饮料的最佳配方：木姜叶柯浸提液添加量 3%，玫瑰茄浸提液添加量 4%，复配甜味剂添加量 0.03%，柠檬酸添加量 0.03%。在此条件下，制备的木姜叶柯玫瑰茄本草饮料可溶性固形物含量为 $0.16\% \pm 0.01\%$ ，多酚质量浓度为 $107.42 \pm 1.90 \text{ mg/L}$ ，总酸质量浓度为 $0.30 \pm 0.01 \text{ g/L}$ ，澄清度为 $73.62\% \pm 1.35\%$ 。饮料的色泽透亮，呈鲜艳的玫红色，质地均匀，酸甜适宜，风味协调，具有一定的抗氧化和降血糖功效。木姜叶柯甜味呈现慢，有后苦味；玫瑰茄花萼有机酸质量浓度高，酸味过重，饮用口感不佳，但是两种原料配合制成饮料后，风味口感有了大幅度提升。本研究拓宽了木姜叶柯和玫瑰茄的应用场景，为木姜叶柯和玫瑰茄深度开发利用提供了参考借鉴。

参考文献:

- [1] 何维维,黄傲,唐雪阳,等. 木姜叶柯化学成分与药理作用及质量评价研究进展 [J]. 中南药学, 2022, 20(11): 2648-2657.
- [2] 谢仁康,罗蒙裕,周福才,等. 珍稀药食同源植物——木姜叶柯生物学特性及应用价值 [J]. 特种经济动植物, 2021, 24(6): 35-37.
- [3] LIU Y, LIU H Y, XIA Y, et al. Screening and Process Optimization of Ultrasound-Assisted Extraction of Main Antioxidants from Sweet Tea (*Lithocarpus litseifolius* [Hance] Chun) [J]. Food Bioscience, 2021, 43: 101277.
- [4] 邱小燕,肖深根,王依清,等. 木姜叶柯新型天然甜味剂植物开发的研究进展与展望 [J]. 农产品加工, 2022(22): 72-76.
- [5] 李暄妍,万蓝婷,程建峰,等. 木姜叶柯的生物活性成分及医疗保健功效 [J]. 茶叶通讯, 2022, 49(4): 430-437.
- [6] 赵敏,钟继超,李泽璠,等. 玫瑰茄色素的稳定性及其抗氧化活性研究 [J]. 包装与食品机械, 2022, 40(6): 15-19.
- [7] RASHEED D M, PORZEL A, FROLOV A, et al. Comparative Analysis of *Hibiscus sabdariffa* (Roselle) Hot and Cold Extracts in Respect to Their Potential for α -Glucosidase Inhibition [J]. Food Chemistry, 2018, 250: 236-244.
- [8] 刘小琳,牛婷婷,谢勇武,等. 玫瑰茄中花色苷的双水相提取及其抗氧化活性 [J]. 中国食品添加剂, 2022, 33(10): 85-91.
- [9] 李静,李云清,林荔辉,等. 玫瑰茄花青素研究进展 [J]. 亚热带农业研究, 2022, 18(3): 155-162.
- [10] LIU H Y, LIU Y, LI M Y, et al. The Chemical, Sensory, and Volatile Characteristics of Instant Sweet Tea (*Lithocarpus litseifolius* [Hance] Chun) Using Electronic Nose and GC-MS-Based Metabolomics Analysis [J]. LWT, 2022, 163: 113518.
- [11] 李玉珠,杜木英,何瑞,等. 玫瑰茄花萼生理活性成分及其开发利用研究进展 [J]. 中国调味品, 2017, 42(6): 170-174.
- [12] 杨浩,姚瑶,孙博瑞,等. 模糊数学法应用于玫瑰茄复合袋泡茶的工艺研究 [J]. 饮料工业, 2022, 25(1): 45-50.
- [13] 邵利平. 玫瑰茄、陈皮、甘草复合饮料的开发 [J]. 现代食品, 2022, 28(3): 77-81.
- [14] 代建菊,赵俊,罗会英,等. 双玫汁饮料工艺配方优化研究 [J]. 中国农学通报, 2019, 35(9): 39-45.
- [15] 莫伟娟,郭婷,段振华,等. 罗汉果味山楂叶茶饮料的研制 [J]. 保鲜与加工, 2020, 20(6): 51-57.
- [16] 姬长英. 感官模糊综合评价中权重分配的正确制定 [J]. 食品科学, 1991, 12(3): 9-11.
- [17] 尚琪,石美荣,苏小育,等. Folin-Ciocalteu 比色法测定茶酵素中多酚质量浓度的方法学研究 [J]. 农产品质量与安全, 2022(1): 24-29.
- [18] 范琳琳,王英,程先玲,等. 超声辅助酶解制备黑莓清汁工艺及其协同效应 [J]. 食品科学, 2019, 40(6): 304-311.
- [19] 刘加友,陈兵兵,王振斌,等. 模糊数学和响应面在葛根乳酸菌饮料感官评定中的应用 [J]. 中国食品学报, 2017, 17(1): 224-229.
- [20] 陈逸,张雨晴,李作停,等. 代糖对奶茶口感的影响与对比分析 [J]. 现代食品, 2022, 28(13): 140-143.
- [21] 杨志玲,谭粹峰,杨旭,等. 18 份木姜叶柯生化成分多样性及药效成分特征研究 [J]. 中国农学通报, 2023, 39(13): 130-136.
- [22] 周振,李杰,韩惠娟,等. 玫瑰茄红色素研究进展 [J]. 中国调味品, 2021, 46(1): 196-200.

责任编辑 孙文静
崔玉洁