

D- 最优混料设计优化富含花青素的 复合果蔬酒主料配比

刘琨毅¹, 王琪^{1,*}, 李秀萍¹, 彭春芳¹, 郭云霞¹, 吴霞²

(1. 宜宾职业技术学院五粮液技术与食品工程学院, 宜宾 644003;
2. 四川工商职业技术学院酒类与食品工程系, 成都 611830)

摘要: 为了丰富富含花青素水果及蔬菜产品的种类, 提高其经济价值, 采用蓝莓、紫玉米、紫甘蓝、紫色彩椒为原料, 通过模糊数学感官评价与 D- 最优混料设计相结合的方式, 并以感官评分与花青素含量为评价指标优化复合果蔬酒的主料配比。结果表明, 将蓝莓汁 42.1%、紫玉米汁 18.8%、紫甘蓝汁 10.0%、紫色彩椒汁 29.1% 进行混合后, 采用复合果蔬酒的酿造工艺, 可获得澄清透明、果香与酒香浓郁、滋味醇和, 花青素含量与感官评分分别为 (35.72 ± 0.42) mg/L 与 (92.8 ± 0.2) 分的复合果蔬酒。试验结果可为同类型复合果蔬酒产品工业化生产提供一定的参数借鉴。

关键词: 蓝莓; 紫玉米; 紫甘蓝; 紫色彩椒; 复合果蔬酒; 模糊数学

中图分类号: TS262.7/TS202.3

文献标识码: A

文章编号: 1006-2513 (2021) 09-0105-08

doi: 10.19804/j.issn1006-2513.2021.09.015

Optimization of fruit and vegetable wine using anthocyanin rich material by D-optimal mixture design

LIU Kunyi¹, WANG Qi^{1,*}, LI Xiuping¹, PENG Chunfang¹, GUO Yunxia¹, WU Xia²

(1. College of Wuliangye Technology and Food Engineering, Yibin Vocational and Technical College, Yibin 644003; 2. Department of Wine and Food Engineering, Sichuan Technology and Business College, Chengdu 611830)

Abstract: In order to increase the added values to variety of fruit and vegetable rich in anthocyanin, blueberry, compound wine was studied and using purple corn, red cabbage and purple pepper as raw materials. Sensory score and anthocyanin content were used as evaluation indexes in design of the wine. The combination of fuzzy mathematics sensory evaluation and D-optimal mixture design were applied to optimize formula of the wine. The results showed that fruit-vegetable compound wine had transparent color, strong fruit and wine aroma and mellow taste. The best

收稿日期: 2021-05-10

基金项目: 中国轻工业浓香型白酒固态发酵重点实验室开放基金项目 (2018JJ020); 固态发酵资源利用四川省重点实验室开放基金项目 (2019GTJ012); 宜宾职业技术学院科研项目 (ZRKX21ZD-04); 宜宾职业技术学院科技创新团队项目 (ybzy21extd-03); 四川工商职业技术学院科研项目 (2020NC04)。

作者简介: 刘琨毅 (1987-), 男, 硕士, 副教授, 研究方向: 传统发酵食品。E-mail: 524449601@qq.com。

***通信作者:** 王琪 (1989-), 女, 硕士, 副教授, 研究方向: 传统发酵食品。E-mail: 749949468@qq.com。

formula was 42.1% blueberry juice, 18.8% purple corn juice, 10.0% red cabbage juice and 29.1% purple pepper juice. Meanwhile, the sensory score and anthocyanin content were (92.8 ± 0.2) and (35.72 ± 0.42) mg/L, respectively. The results provide references for industrial production of fruit-vegetable compound wine.

Key words: blueberry; purple corn; red cabbage; purple pepper; compound fruit and vegetable wine; fuzzy mathematics

花青素是一类生物类黄酮物质,具有良好的抗氧化、抗衰老、美容美颜等功效^[1-2]。由于人体不能产生花青素,所以需要通过食用含有花青素食物来减缓体内细胞老化的速度,提高机体抵御外界氧化的能力^[3-4]。目前,花青素广泛分布于蓝莓、桑葚、黑枸杞、紫甘薯、紫玉米、紫甘蓝、紫色彩椒等果蔬中^[5]。蓝莓因其富含多种维生素和微量元素以及高含量的花青素,被联合国粮农组织评选为人类五大健康食品之一^[6-7]。紫玉米比普通玉米营养成分更为丰富,其中,钙、铁、锰、硒、锌等微量元素是普通玉米的2至10倍,而且还具有抗氧化、延缓衰老、抑制肿瘤等功效^[8-10]。紫甘蓝含有大量的生物活性物质,如多酚、花色苷、硫代葡萄糖苷,被世界卫生组织推荐为最佳蔬菜之一^[11-12]。紫色彩椒中含有比青椒更为富含的维生素、微量元素等营养物质,以及类黄酮、花青素等抗氧化物质^[13]。因此,利用上述富含花青素的果蔬原料开发出一系列优良产品将会有广阔的市场价值。

复合果蔬酒是利用两种或多种水果或蔬菜酿造而成的低酒精度饮品,含有多种营养物质及保健功效,并以其特有的风味和品质深受消费者的喜爱^[14-15]。例如,宋琳琳^[16]基于电子鼻和顶空固相微萃取结合气相质谱技术分析了由苹果、猕猴桃、番茄和胡萝卜制成的复合果蔬酒的风味特征要优于单一原料制成的果蔬酒;张南海等^[17]采用异步糖化发酵法制成的树莓紫薯复合果蔬酒解决了树莓发酵果酒糖度低的问题;王琪等^[18]利用甜椒和薄荷发酵而成的复合果蔬酒具有酒香和谐、滋味爽口的感官特征。基于此,本试验运用模糊数学感官评价法^[19],以蓝莓、紫玉米、紫甘蓝、紫色彩椒为原料,进行D-最优混料设计^[20-21],探索复合果蔬酒感官评分和花青素含量最高时的最优配比,为蓝莓、紫玉米、紫甘蓝和紫色彩椒等果蔬资源的开发利用提供一定的参考

价值及新型复合果蔬酒的研发提供指导作用。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

新鲜蓝莓、紫玉米、紫甘蓝、紫色彩椒、白砂糖:四川省宜宾市沃尔玛超市;酿酒酵母(*Saccharomyces cerevisiae*) CICC31482:宜宾职业技术学院菌种保藏中心;果胶酶(10^5 U/mL)上海杰兔公司;偏重亚硫酸钾(食品级):桂林宝钻食品有限公司;其余试剂均为分析纯。

1.2 仪器与设备

BS210S型电子分析天平:北京赛多利斯天平有限公司;W-CJ-2FD型超净工作台:苏州净化设备有限公司;SPHs-3c型精密pH计:上海理达仪器厂;DHP-9162型电热恒温培养箱:上海一恒科学仪器有限公司;723型可见分光光度计:上海精密科学仪器有限公司;LXJ-IIB低速大容量多管离心机:郑州长城工贸有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 复合果蔬酒的酿造工艺流程

复合果蔬酒的酿造工艺流程如下所示,操作要点按照刘琨毅等^[22]优化后的复合果酒酿造工艺进行。

新鲜果蔬→分选→清洗→去皮(去核、去梗)→榨汁(添加相同质量的纯净水)→果胶酶酶解→过滤→四种果汁混合→添加蔗糖与偏重亚硫酸钾→巴氏灭菌→接种酿酒酵母→发酵→过滤→澄清→巴氏灭菌→成品

主要操作要点:将四种果蔬分别榨汁后,按照20U/g添加果胶酶进行澄清处理3h,四层纱布过滤后按照试验所需的体积比进行混合。加入蔗糖调节可溶性固形物含量为22°Brix,加入偏重亚硫酸钾调节总酸至质量分数0.90%,巴氏灭菌(65℃、30min)果汁,待冷却后按体积分数接入5%经扩大培养后的酵母菌悬液(1.32×10^7 CFU/mL)。

23℃发酵7d,经过滤、硅藻土澄清与巴氏灭菌(65℃、30min)后得到成品。

1.3.2 复合果蔬酒主料配比的D-最优混料设计响应面试验

以蓝莓汁、紫玉米汁、紫甘蓝汁、紫色彩椒汁的添加量为自变量,设定蓝莓汁(A)、紫玉米汁(B)、紫甘蓝汁(C)和紫色彩椒汁(D)为4个参数,其中,A+B+C+D=100%,以花青素的含量和感官评分的高低为响应值进行D-最优混料设计响应面试验,四种果蔬汁的设定范围均为10%至70%。

1.3.3 复合果蔬酒花青素的测定方法

按照郭浩然等^[23]测定桑葚酒中花青素的方法,将复合果蔬酒样品4℃离心(10000r/min,15min)后吸取上清液1mL,分别用pH为1.0和4.5的缓冲溶液定容至20mL。其中,pH为1.0的缓冲液是将0.2mol/L的氯化钾溶液和0.2mol/L的盐酸溶液以25:67的体积比混合得到,pH=4.5的缓冲液是将0.2mol/L的乙酸钠溶液与0.2mol/L的乙酸溶液按照体积比1:1混合后即得。以蒸馏水为空白对照,分别测定用pH=1.0和pH=4.5

的缓冲液稀释后的复合果蔬酒在519nm和700nm下的吸光值,以矢车菊素-3-葡萄糖苷计,并按照Fuleki公式计算出复合果蔬酒中花青素的含量^[24]。

$$\Delta A = (A_{519nm} - A_{700nm}) \text{pH} = 1.0 - (A_{519nm} - A_{700nm}) \text{pH} = 4.5$$

$$C = \frac{\Delta A \times DF \times M}{\epsilon L} \times 1000$$

式中: ΔA 为复合果蔬酒中花青素的总吸光值; A_{519nm} 和 A_{700nm} 分别为复合果蔬酒在519nm和700nm处测定的吸光值; DF 为稀释倍数; M 为矢车菊素-3-葡萄糖苷的相对分子质量449.2g/mol; ϵ 为矢车菊素-3-葡萄糖苷的消光系数,26900L/(mol·cm); L 为光程,值为1cm。

1.3.4 复合果蔬酒的感官评价方法

复合果蔬酒的感官评价方法参照柑橘枸杞复合果酒感官评价的方法^[22]。如表1所示,复合果蔬酒的感官评价方法分为四个部分,满分100分。试验邀请10名具有高级品酒师职业资格证书的专业人士进行感官评价。

表1 复合果蔬酒感官评分标准

Table 1 Standard of sensory evaluation of compound fruit and vegetable wine

指标	评定标准(分)			
	优	良	中	差
外观形态(20)	有光泽,澄清透明,悦目协调(16~20)	较为澄清,无悬浮物,光泽度较好(10~15)	较浑浊,光泽度较差(6~10)	浑浊,无光泽,有明显悬浮物(0~5)
香气(25)	果香与酒香浓郁协调,无异杂味(19~25)	果香与酒香浓郁,较为协调,无异杂味(13~18)	果香与酒香不足,稍有异味(7~12)	果香与酒香不足且香气不协调(0~6)
滋味(35)	酒体丰满,醇厚,爽口,无异杂味(28~35)	酒质较为柔顺,爽口,无异杂味(19~27)	酒质较为柔顺,欠爽口,有异杂味(10~18)	酒质寡淡,不爽口,异杂味明显(0~9)
典型性(20)	风格优雅独特(16~20)	风格良好(10~15)	风格普通(6~10)	风格无典型性(0~5)

1.4 模糊数学评价模型的建立

1.4.1 评价等级集V的确定

设评价等级集V。

$$V = (V_1, V_2, V_3, V_4) = (100, 75, 50, 25) \quad (1)$$

式中: V_1 代表优; V_2 代表良; V_3 代表中; V_4 代表差;对应分数为100、75、50、25。

1.4.2 评价权重集X的确定

外观形态、香气、滋味、典型性是构成感官评价复合果蔬酒的因素。根据“主观赋权法”^[19-25]和复合果蔬酒感官评分标准(表1)得到权重X。

$$X = (X_1, X_2, X_3, X_4) = (0.20, 0.25, 0.35, 0.20) \quad (2)$$

1.4.3 模糊评定矩阵的建立

10名感官评定员对复合果蔬酒按外观形态、香气、滋味、典型性四个因素逐一评价,统计各质量因素在每个等级中的票数,进行归一化得到复合果蔬酒的感官评价模糊关系矩阵 $R^{[26]}$;然后对各组指标数据结果建立隶属度矩阵,根据模糊变换原理得出感官评分 Y 。

$$Y=XRIV^T$$

1.4.4 评定结果

对各个模糊矩阵的结果进行赋值。将模糊向量单值化排序与赋值结果相乘后求和,最终得到每个实验组的得分^[19, 25]。

1.5 数据处理

本文数据处理及做图分别采用 SPSS Statistics (20.0) 与 Design Expert (12.0) 进行。

2 结果与分析

2.1 模糊数学综合评判结果

10位感官评定专家分别对复合果蔬酒外观形态、香气、滋味和典型性4个考察指标进行感官评定,试验号为1的复合果蔬酒的感官评定结果(各等级评定人数)见表2。

表2 试验号为1的复合果蔬酒感官评定结果
Table 2 Sensory evaluation results of fruit and vegetable compound wine for sample No.1

感官指标	评定等级			
	优	良	中	差
外观形态	6	1	2	1
香气	7	2	1	0
滋味	6	2	1	1
典型性	6	2	1	1

由试验结果可知,10位感官评定小组中有6位专家认为试验号为1的复合果蔬酒外观形态等级为优,1位认为良,2位认为中,1位认为差。所以 $R_{\text{外观形态}}=(0.6, 0.1, 0.2, 0.1)$,同理可得 $R_{\text{香气}}=(0.7, 0.2, 0.1, 0)$, $R_{\text{滋味}}=(0.6, 0.2, 0.1, 0.1)$, $R_{\text{典型性}}=(0.6, 0.2, 0.1, 0.1)$ 。将上述指标转化为矩阵,即:

$$R_1 = \begin{pmatrix} 0.6, 0.1, 0.2, 0.1 \\ 0.7, 0.2, 0.1, 0 \\ 0.6, 0.2, 0.1, 0.1 \\ 0.6, 0.2, 0.1, 0.1 \end{pmatrix}$$

根据模糊变化原理 $Y=XRIV^T$,即试验号1的评价结果为:

$$Y_1 = XR_1V^T = (0.20, 0.25, 0.35, 0.20) \times \begin{pmatrix} 0.6, 0.1, 0.2, 0.1 \\ 0.7, 0.2, 0.1, 0 \\ 0.6, 0.2, 0.1, 0.1 \\ 0.6, 0.2, 0.1, 0.1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 100 \\ 75 \\ 50 \\ 25 \end{pmatrix} = 83.9$$

将试验号为1的数据模糊向量赋值得到其得分为83.9分,以该方法对20个试验小组进行综合模糊评判,结果如表3所示。

2.2 复合果蔬酒主料配比的D-最优混料设计试验结果

以复合果蔬酒的花青素含量和感官评分为响

应值,根据D-最优混料设计原理,通过Design Expert软件设计D-最优混料设计响应面试验,考察蓝莓汁(A)、紫玉米汁(B)、紫甘蓝汁(C)和紫色彩椒汁(D)4个因素对复合果蔬酒花青素含量(Y_1)和感官评分(Y_2)的影响,响应面试验结果如表3所示,方差分析见表4。

表3 复合果蔬酒原料配比条件优化响应面试验设计及结果

Table 3 Design and results of response surface methodology for optimizing main ingredient ratio of fruit and vegetable compound wine

试验号	A: 蓝莓汁/%	B: 紫玉米汁/%	C: 紫甘蓝汁/%	D: 紫色彩椒汁/%	Y_1 : 花青素含量/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	Y_2 : 感官评分/分
1	10.0	10.0	40.0	40.0	35.10	83.9
2	17.5	17.5	17.5	47.5	33.21	77.8

试验号	A: 蓝莓汁 / %	B: 紫玉米汁 / %	C: 紫甘蓝汁 / %	D: 紫色彩椒汁 / %	Y ₁ : 花青素含量 / (mg · L ⁻¹)	Y ₂ : 感官评分 / 分
3	10.0	10.0	70.0	10.0	31.88	84.0
4	40.0	40.0	10.0	10.0	32.98	71.3
5	10.0	40.0	10.0	40.0	34.86	73.6
6	40.0	40.0	10.0	10.0	33.15	74.6
7	10.0	10.0	40.0	40.0	34.80	85.3
8	70.0	10.0	10.0	10.0	33.58	86.5
9	10.0	40.0	40.0	10.0	31.09	75.7
10	17.5	47.5	17.5	17.5	32.10	88.4
11	10.0	10.0	10.0	70.0	32.76	67.9
12	47.5	17.5	17.5	17.5	34.59	75.8
13	17.5	17.5	47.5	17.5	32.27	75.8
14	40.0	10.0	10.0	40.0	34.46	82.7
15	40.0	10.0	40.0	10.0	33.97	84.7
16	10.0	70.0	10.0	10.0	30.79	72.4
17	40.0	10.0	10.0	40.0	34.01	85.2
18	10.0	40.0	40.0	10.0	31.18	86.2
19	30.0	30.0	30.0	10.0	32.53	73.2
20	10.0	40.0	10.0	40.0	34.37	73.4

经 Design Expert 软件对表 3 中的数据进行多元回归拟合, 得到复合果蔬酒花青素含量 (Y₁) 和感官评分 (Y₂) 的回归方程:

$$Y_1 = 33.63A + 30.84B + 31.93C + 32.64D + 3.42AB + 4.96AC + 4.31AD - 0.90BC + 11.41BD + 10.57CD - 8.18ABC + 52.73ABD - 0.84ACD - 150.95BCD$$

$$Y_2 = 86.55A + 72.45B + 84.05C + 67.76D - 26.11AB - 2.20AC + 27.05AD + 10.89BC + 13.45BD + 34.45CD - 154.93ABC + 978.95ABD - 1735.53ACD + 783.75BCD$$

根据方差分析 (表 4), 交互项 AB、AC、AD 对复合果蔬酒花青素含量的影响为显著 ($P < 0.05$), 交互项 BD、CD 和 BCD 对花青素含量的影响为极显著 ($P < 0.01$); 交互项 CD 和 ABD 对复合果蔬酒感官评分的影响达到了显著水平 ($P < 0.05$), 而交互项 ACD 对感官评分的影响达到了极显著水平 ($P < 0.01$), 表明该试验可以利用上述 2 个回归方程确定复合果蔬酒花青素含量和感官评分。

表 4 回归模型方差分析
Table 4 Analysis of variance for the regression model

方差来源	平方和		自由度		均方		F 值		P 值		显著性	
	Y ₁	Y ₂										
模型	33.43	675.77	13	13	2.57	51.98	24.66	4.78	0.0004	0.0325	**	*
线性混合	16.70	194.63	3	3	5.57	64.88	53.40	5.96	0.0001	0.0312	**	*
AB	0.73	42.68	1	1	0.73	42.68	7.04	3.92	0.0379	0.0949	*	
AC	1.03	0.20	1	1	1.03	0.20	9.83	0.02	0.0202	0.8962	*	
AD	1.16	45.77	1	1	1.16	45.77	11.13	4.21	0.0157	0.0861	*	

方差来源	平方和		自由度		均方		F 值		P 值		显著性	
	Y ₁	Y ₂										
BC	0.05	7.43	1	1	0.05	7.43	0.48	0.68	0.5131	0.4403		
BD	8.14	11.32	1	1	8.14	11.32	78.05	1.04	0.0001	0.3471	**	
CD	6.98	74.23	1	1	6.98	74.23	66.98	6.82	0.0002	0.0400	**	*
ABC	0.07	23.51	1	1	0.07	23.51	0.63	2.16	0.4582	0.1920		
ABD	0.21	74.00	1	1	0.21	74.00	2.06	6.80	0.2013	0.0402		*
ACD	0.00	227.57	1	1	0.00	227.57	0.00	20.92	0.9826	0.0038		**
BCD	1.76	47.43	1	1	1.76	47.43	16.88	4.36	0.0063	0.0818	**	
残差	0.63	65.28	6	6	0.10	10.88						
失拟项	0.34	0.44	1	1	0.34	0.44	5.98	0.03	0.0582	0.8616		
纯误差	0.28	64.84	5	5	0.06	12.97						
总离差	34.05	741.05	19	19								

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

各原料配比的交互作用对花青素含量所形成的响应面如图 1 所示。由图 1 知，因素 B、C 和 D 之间的交互作用对花青素含量所形成的响应面最为陡峭，表明因素 B、因素 C 与因素 D 的交

互作用对复合果蔬酒花青素含量的影响最大，该结果与表 4 中方差分析所得结果一致，交互项 BCD 对复合果蔬酒花青素含量的影响为极显著 ($P < 0.01$)。

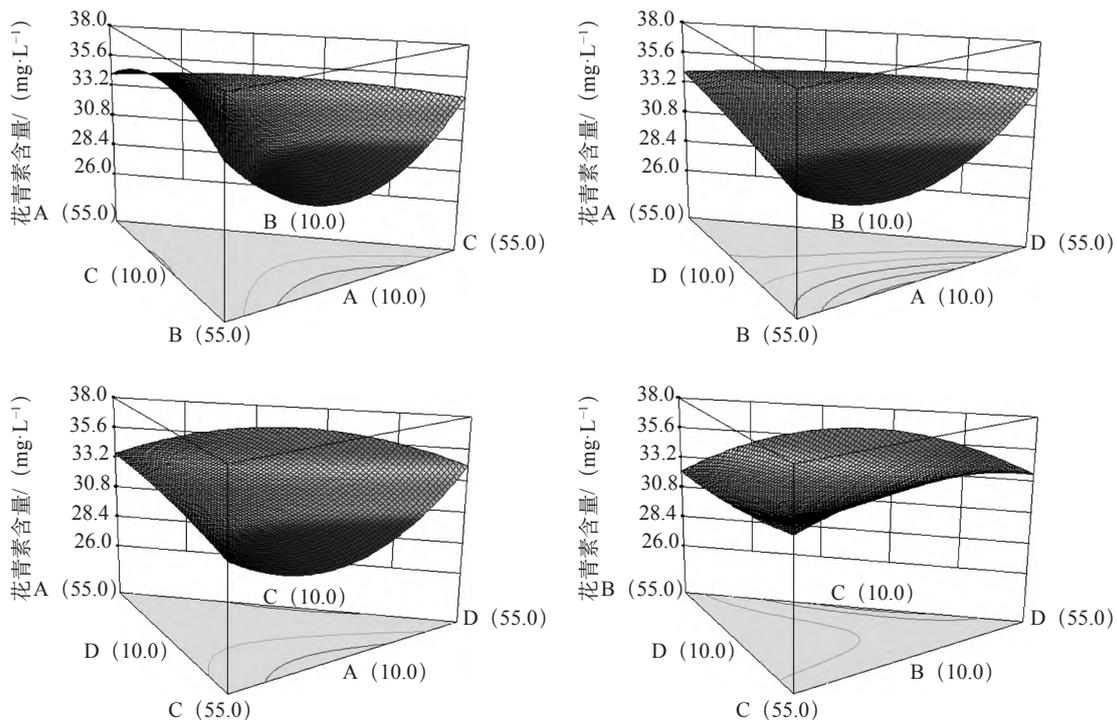


图 1 各原料配比的交互作用对花青素含量影响的响应面图

Figure 1 Response surface analysis of the interaction of main ingredient ratio on anthocyanin content

在四组交互项对感官评分影响所形成的响应面图中，因素 A、C 和 D 之间的交互作用对感官

评分影响所形成的响应面最为陡峭 (图 2)，该结果与方差分析中只有交互项 ACD 对复合果蔬酒

感官评分的影响到达了极显著水平 ($P < 0.01$)

的结论相一致。

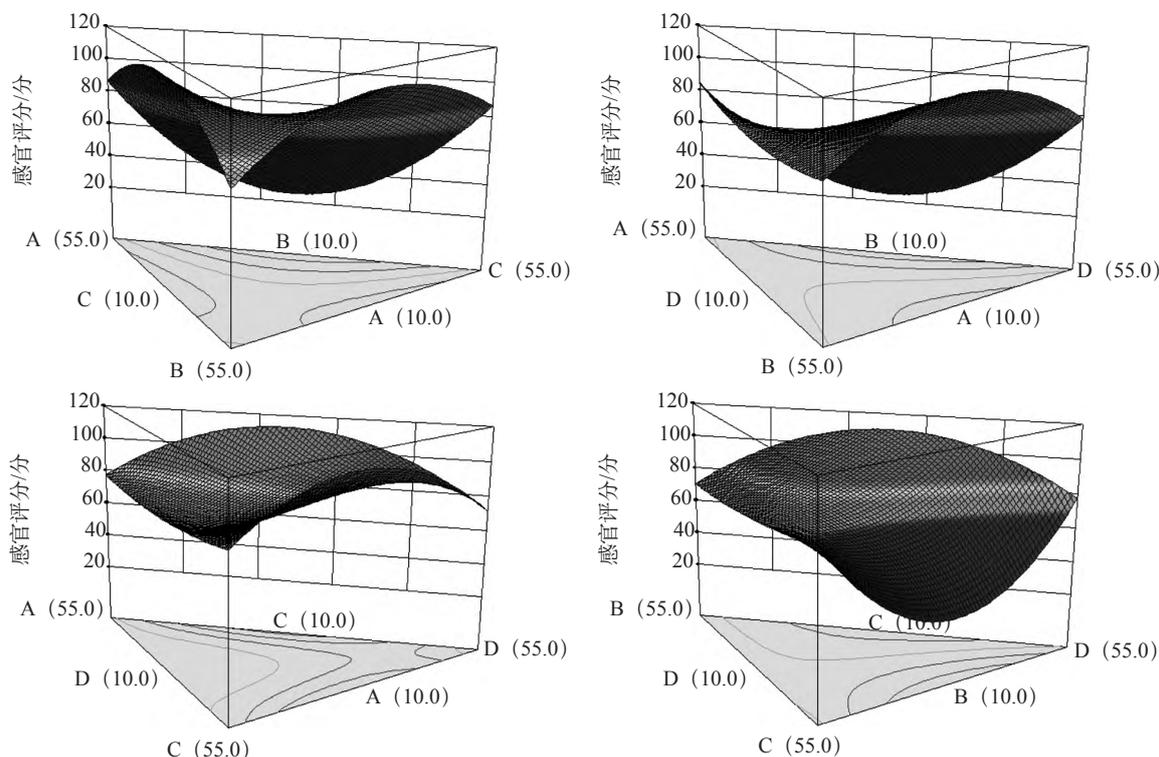


图2 各原料配比的交互作用对感官评分影响的响应面图

Figure 2 Response surface analysis of the interaction of main ingredient ratio on sensory score

2.3 原料配比优化及验证试验

根据响应面分析,复合果蔬酒在蓝莓汁42.084%、紫玉米汁18.795%、紫甘蓝汁10.000%、紫色彩椒汁29.121%的条件下,可获得最高的花青素含量理论值35.7567mg/L;在蓝莓汁55.967%、紫玉米汁14.573%、紫甘蓝汁10.000%、紫色彩椒汁19.460%的条件下,感官评分可获得最高的理论值93.4352分。

后续分别对蓝莓汁42.1%、紫玉米汁18.8%、紫甘蓝汁10.0%、紫色彩椒汁29.1%,以及蓝莓汁56.0%、紫玉米汁14.6%、紫甘蓝汁10.0%、紫色彩椒汁19.4%进行三组平行试验。试验结果表明复合果蔬酒在蓝莓汁42.1%、紫玉米汁18.8%、紫甘蓝汁10.0%、紫色彩椒汁29.1%的条件下,可获得最高的花青素含量与感官评分,分别为 (35.72 ± 0.42) mg/L与 (92.8 ± 0.2) 分。

3 结论

经过模糊数学评价法和D-最优混料设计响

应面试验,得到由蓝莓汁、紫玉米汁、紫甘蓝汁、紫色彩椒汁四种果蔬汁原料酿造复合果蔬酒的最优主料配比。将蓝莓汁42.1%、紫玉米汁18.8%、紫甘蓝汁10.0%、紫色彩椒汁29.1%混合后,采用复合果蔬酒的酿造工艺,可获得澄清透明、果香与酒香浓郁、滋味醇和,花青素含量与感官评分分别为 (35.72 ± 0.42) mg/L与 (92.8 ± 0.2) 分的复合果蔬酒。试验结果可为同类型复合果蔬酒产品标准化、工业化生产提供参数借鉴。

参考文献:

- [1] 乔廷廷, 郭玲. 花青素来源、结构特性和生理功能的研究进展[J]. 中成药, 2019, 41 (2): 388-392.
- [2] 刘迪, 张浩, 张寒雪, 等. 花青素和矢车菊素的生物活性及抗氧化功能研究进展[J]. 吉林医药学院学报, 2021, 42 (1): 58-60.
- [3] 冯思敏, 王丽玲, 廖杰, 等. 花青素纳米载体的研究进展[J]. 食品工业科技, 2021, 42 (4): 330-336.
- [4] 杨丽嫔, 朱珍珠, 雷红, 等. 花青素对神经退行性疾病保护作用的研究进展[J]. 中国食物与营养, 2021, 27 (2): 40-45.
- [5] 崔建, 李晓岩. 花青素抗肿瘤作用机制研究进展[J]. 食品科

- 学, 2014, 35 (13): 310-315.
- [6] 刘丙花, 王开芳, 王小芳, 等. 基于主成分分析的蓝莓果实质地品质评价 [J]. 核农学报, 2019, 33 (5): 927-935.
- [7] Xu F X, Liu S Y, Liu Y F, et al. Effect of mechanical vibration on postharvest quality and volatile compounds of blueberry fruit [J]. Food Chemistry, 2021, 349: 129216.
- [8] Ren S, Giusti M M. The effect of whey protein concentration and preheating temperature on the color and stability of purple corn, grape and black carrot anthocyanins in the presence of ascorbic acid [J]. Food Research International, 2021, 144: 110350.
- [9] Ren S, Giusti M M. Monitoring the interaction between thermally induced whey protein and anthocyanin by fluorescence quenching spectroscopy [J]. Foods, 2021, 10 (2): 310.
- [10] 王小星, 郭冰, 刘贵海, 等. 紫玉米研究进展综述 [J]. 安徽农学通报, 2019, 25 (13): 65-66, 122.
- [11] 张笑菊, 蔡逸安, 李昕悦, 等. 响应面法优化紫甘蓝中花色苷提取工艺及抗氧化性研究 [J]. 食品研究与开发, 2019, 40 (1): 85-91.
- [12] Ghazal A F, Zhang M, Bhandari B, et al. Investigation on spontaneous 4D changes in color and flavor of healthy 3D printed food materials over time in response to external or internal pH stimulus [J]. Food Research International, 2021, 142: 110215.
- [13] 刘维侠, 曹振木, 廖易, 等. 不同彩色甜椒果实发育过程中色素和抗氧化物质含量的变化 [J]. 热带作物学报, 2010, 31 (12): 2187-2192.
- [14] 宋琳琳, 黄业传, 张雄, 等. 混料设计优化复合果蔬酒原料配比及其模糊数学评价 [J]. 食品工业科技, 2019, 40 (7): 213-217, 242.
- [15] 刘波. 野生山里红与山楂复合果酒的优化工艺 [J]. 食品研究与开发, 2015, 36 (8): 61-64.
- [16] 宋琳琳. 复合果蔬发酵酒工艺研究 [D]. 绵阳: 西南科技大学, 2019.
- [17] 张南海, 石雅, 赵亮, 等. 树莓紫薯复合果酒发酵工艺研究 [J]. 现代食品科技, 2019, 35 (11): 182-192.
- [18] 王琪, 刘琨毅, 安江珊, 等. 响应面优化甜椒薄荷复合酒生产工艺 [J]. 中国酿造, 2021, 40 (4): 198-202.
- [19] 王林. 基于模糊数学法与 D-最优混料设计优化青瓜紫薯川北凉粉配方 [J]. 美食研究, 2020, 37 (3): 59-63.
- [20] Yin H F, Chen Z G, Gu Z X, et al. Optimization of natural fermentative medium for selenium-enriched yeast by d-optimal mixture design [J]. LWT-Food Science and Technology, 2009, 42 (1): 327-331.
- [21] Amini Sarteshnizi R, Hosseini H, Bondarianzadeh D, et al. Optimization of prebiotic sausage formulation: Effect of using β -glucan and resistant starch by D-optimal mixture design approach [J]. LWT-Food Science and Technology, 2015, 62 (1): 704-710.
- [22] 刘琨毅, 申俊刚, 王琪, 等. 响应面法优化柑橘枸杞复合果酒酿造工艺 [J]. 中国酿造, 2019, 38 (8): 199-204.
- [23] 郭浩然, 郑心怡, 张静, 等. 桑葚酒中花青素含量的测定方法优化 [J]. 食品工业科技, 2020, 41 (9): 255-259.
- [24] Fuleki T, Francis F J. Quantitative methods for anthocyanins. 4. determination of individual anthocyanins in cranberry and cranberry products [J]. Journal of Food Science, 1968, 33 (5): 471-478.
- [25] 张荣春. 模糊数学感官评价法优化青团制作工艺 [J]. 美食研究, 2019, 36 (3): 36-40.
- [26] Lu Q, He Y Q, Liu X F. Property assessment of steamed bread added with cellulase by using fuzzy mathematical model [J]. Journal of Texture Studies, 2015, 46 (6): 420-428.

行业组织 品牌展览

第二十五届中国国际食品添加剂和配料展览会
暨第三十一届全国食品添加剂生产应用技术展示会

Food Ingredients China 2022

展出时间: 2022年3月15日~17日

展出地点: 国家会展中心(上海), 崧泽大道333号

详情请登陆: www.cfaa.cn