

富含番茄红素的复合果蔬酒酿造工艺优化及抗氧化活性分析

周书来^{1,2,3}, 吴丽⁴, 王琪^{2,5}, 刘琨毅^{2,5*}, 吴冬梅^{2,6}, 何翠容⁷

(1.乐山职业技术学院 现代农业学院 四川 乐山 614000 2.固态发酵资源利用四川省重点实验室 四川 宜宾 644000 ;

3.乐山丰野科技有限责任公司 四川 乐山 614000 4.乐山市食品药品检验检测中心 四川 乐山 614000 ;

5.宜宾职业技术学院 五粮液技术与食品工程学院 四川 宜宾 644100 6.泸州职业技术学院 中国酒业学院 四川 泸州 646000 ;

7.四川省酒类科研所有限公司 四川 成都 610000)

摘要 为提高复合果蔬酒的番茄红素含量,以番茄、芒果、南瓜、枇杷为主要原料,采用果肉与果汁共同酿造技术制备复合果蔬酒,通过单因素试验及响应面试验优化复合果蔬酒酿造的工艺条件,并对其抗氧化活性进行分析。结果表明,在初始糖度21.7%、酿酒酵母(1.3×10^7 CFU/mL)接种量5.5%、发酵温度20℃和发酵时间5.0 d的条件下,可获得色泽橙红透明、香气浓郁、滋味醇和的复合果蔬酒,其感官评分与番茄红素含量分别为89.6分与40.63 $\mu\text{g/mL}$ 。复合果蔬酒对ABTS⁺、DPPH[·]、O₂^{·-}、·OH清除率的半最大效应浓度(EC₅₀)分别为54.76 mg/100 mL、39.71 mg/100 mL、20.08 mg/100 mL、30.18 mg/100 mL。

关键词 番茄红素;复合果蔬酒;感官评分;抗氧化活性

中图分类号:TS262.1

文章编号:0254-5071(2024)12-0242-07

doi:10.11882/j.issn.0254-5071.2024.12.036

引文格式:周书来,吴丽,王琪,等.富含番茄红素的复合果蔬酒酿造工艺优化及抗氧化活性分析[J].中国酿造,2024,43(12):242-248.

Optimization of fermentation process and analysis of antioxidant activity of lycopene-enriched compound fruit and vegetable wine

ZHOU Shulai^{1,2,3}, WU Li⁴, WANG Qi^{2,5}, LIU Kunyi^{2,5*}, WU Dongmei^{2,6}, HE Cuirong⁷

(1.School of Modern Agricultural, Leshan Vocational and Technical College, Leshan 614000, China; 2.Solid-state Fermentation Resource

Utilization Key Laboratory of Sichuan Province, Yibin 644000, China; 3.Leshan Fengye Technology Co., Ltd, Leshan 614000, China;

4.Leshan Food and Drug Inspection Center, Leshan 614000, China; 5.School of Wuliangye Technology and Food Engineering,

Yibin Vocational and Technical College, Yibin 644100, China; 6.School of China Alcohol Drinks, Luzhou Vocational and

Technical College, Luzhou 646000, China; 7.Sichuan Research Institute of Alcoholic Drinks Co., Ltd., Chengdu 610000, China)

Abstract To improve the lycopene content in compound fruit and vegetable wine, using tomato, mango, pumpkin, and loquat as the main raw materials, a compound fruit and vegetable wine was prepared by co-brewing technology of pulp and juice. The brewing process conditions of the compound fruit and vegetable wine was optimized by single factor experiments and response surface experiments, and the antioxidant activity was analyzed. The results showed that the compound fruit and vegetable wine with orange-red and transparent color, rich aroma and mellow taste could be obtained under the conditions of initial sugar content 21.7%, *Saccharomyces cerevisiae* (1.3×10^7 CFU/ml) inoculum 5.5%, fermentation temperature 20 °C, and time 5.0 d. The sensory score and lycopene content were 89.6 and 40.63 $\mu\text{g/ml}$, respectively and the concentration for 50% of maximum effect (EC₅₀) of the compound fruit and vegetable wine on the scavenging ABTS⁺, DPPH[·], O₂^{·-}, and ·OH were 54.76 mg/100 ml, 39.71 mg/100 ml, 20.08 mg/100 ml, and 30.18 mg/100 ml, respectively.

Key words lycopene; compound fruit and vegetable wine; sensory score; antioxidant activity

类胡萝卜素是一类具有抗炎、抗氧化、调节血脂、延缓衰老等多种生理作用的脂溶性四帖类天然色素的总称^[1-4]。目前已被广泛应用于食品、保健品及医药等行业^[5-6]。类胡萝卜素存在于黄色、橙红色或红色的水果或蔬菜之中,现已被分离鉴定出番茄红素、 α -胡萝卜素、 β -胡萝卜素、玉米黄质和叶黄素等750多种单体化合物^[7-9]。其中,番茄红素更

利于机体利用吸收。 α -胡萝卜素、 β -胡萝卜素进入人体后也会进一步转化为番茄红素^[10-12]。由于人体无法自主合成番茄红素,故需要从水果或蔬菜(如番茄、胡萝卜、西瓜、芒果、枇杷和南瓜等)中摄取^[13-15]。因此,将上述果蔬加工成富含番茄红素的食品将会有较大的市场价值。

前期研究发现,利用番茄汁、芒果汁、南瓜汁和枇杷汁制

收稿日期:2023-12-05

修回日期:2024-04-16

基金项目:固态发酵资源利用四川省重点实验室开放基金项目(2023GTY05);教育部科技发展中心专项基金项目(ZJXF2022244);乐山职业技术学院科研项目(KY2024012);宜宾职业技术学院科研项目(ZRZD24-12);宜宾职业技术学院科技创新团队项目(ybzy21cxt03);四川省科技计划项目(2022JDZH0016)

作者简介:周书来(1986-),男,副教授,硕士,研究方向为农产品(食品)加工与质量检测。

*通讯作者:刘琨毅(1987-),男,副教授,博士,研究方向为微生物发酵。

成的复合果蔬酒不仅具有优良的感官品质,而且含有(19.57±0.52) μg/mL番茄红素,但番茄红素含量较酿造原料的四种果蔬汁下降了75.31%^[16]。陈兴思^[17]研究发现,番茄榨汁过滤后的果渣中还存在较高含量的番茄红素,因此需要将果渣合理利用以获得较高含量番茄红素的复合果蔬酒。刘英杰等^[18-20]研发的水果果肉与果汁共同酿造果酒的技术,不仅可以改善果酒的风味特征,而且能较好保留酿造原料中的营养成分和活性物质。但果肉与果汁共同酿造技术对果酒中番茄红素的影响却鲜有研究。

故本试验在前期研究工作的基础上^[16],拟采用果肉与果汁共同酿造技术,并通过单因素试验及响应面试验对复合果蔬酒的酿造工艺进行优化,以期提高复合果蔬酒中番茄红素的含量,同时分析其抗氧化活性,拓宽复合果蔬酒的市场应用。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

番茄(千禧果)、芒果(台农1号)、南瓜(密本)、枇杷(大五星)、白砂糖:市售;酿酒酵母(*Saccharomyces cerevisiae*) CICC31482:宜宾职业技术学院菌种保藏中心;果胶酶(酶活10⁵ U/mL):上海杰兔工贸有限公司;偏重亚硫酸钾(食品级)、维生素C(纯度≥99.0%):桂林宝钻食品有限公司;2,2'-联氮-二(3-乙基-苯并噻唑-6-磺酸)二铵盐自由基(di-ammonium 2,2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonate) radicals, ABTS⁺·)、1,1-二苯基-2-三硝基苯胍自由基(1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl radicals, DPPH·)、超氧阴离子自由基(superoxide anion radicals, O₂^{·-})和羟自由基(hydroxyl radicals, ·OH)清除能力试剂盒:上海通蔚实业有限公司;其余试剂均为国产分析纯。

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;WJE2802D型榨汁机:美的集团股份有限公司;DHP-9162型电热恒温培养箱:上海一恒科学仪器有限公司;LXJ-IIIB型低速大容量多管离心机:郑州长城工贸有限公司;723型可见分光光度计:上海精密科学仪器有限公司;SPHs-3c型精密pH计:上海理达仪器厂。

1.3 试验方法

1.3.1 复合果蔬酒的酿造工艺流程及操作要点

番茄、芒果、南瓜、枇杷→清洗→去皮、去核(若需要)→破碎→酶解→混合→添加白砂糖、偏重亚硫酸钾与维生素C→巴氏灭菌→接种酿酒酵母→发酵→过滤→巴氏灭菌→成品

操作要点:挑选4种新鲜成熟的果蔬(番茄、芒果、南瓜、枇杷),去皮、去核(若需要)后分别加入同等质量的纯净水,破碎,得到果蔬浆汁;分别向4种果蔬浆汁中添加果胶酶(20 U/g)于常温条件下处理3 h;按39.8%番茄浆汁、36.2%芒果浆汁、16.0%南瓜浆汁和8.0%枇杷浆汁的质量比进行混合得到复合果蔬浆汁,按照试验设计加入白砂糖调节初始糖度,加入偏重亚硫酸钾调节总酸含量为0.90%,并添加0.08%维生素C,巴氏灭菌(65℃、30 min),待冷却至常温后接入一定比例的经扩大培养后^[21]的酿酒酵母悬液(1.3×10⁷ CFU/mL),在试验设定的条件下静置发酵,待发酵结束经四层纱布过滤与巴氏灭菌(65℃、30 min)后得到成品。

1.3.2 复合果蔬酒酿造工艺优化单因素试验

分别考察初始糖度(19.0%、21.5%、24.0%、26.5%、29.0%)、酿酒酵母接种量(1%、3%、5%、7%、9%)、发酵温度(19℃、21℃、23℃、25℃、27℃)及发酵时间(5 d、6 d、7 d、8 d、9 d)对复合果蔬酒感官评分及番茄红素含量的影响,每组试验重复3次进行单因素试验。

1.3.3 复合果蔬酒酿造工艺优化响应面试验

在单因素试验的基础上,以复合果蔬酒的番茄红素含量(Y₁)和感官评分(Y₂)为考察指标,以初始糖度(A)、酿酒酵母接种量(B)、发酵温度(C)和发酵时间(D)为考察因素,设计4因素3水平响应面试验优化复合果蔬酒酿造工艺。

1.3.4 测定方法

番茄红素含量:参照本课题组前期建立的方法进行测定^[16];总糖含量与总酸含量:分别采用直接滴定法与电位滴定法^[22-23];酒精度及干浸出物含量:均采用密度瓶法^[22-24]。复合果蔬酒的感官评价:参照GB/T 15038—2006《葡萄酒、果酒通用分析方法》的感官评价方法^[22],邀请11名(6男5女)年龄在28~38岁,具有高级品酒师职业资格证书的专业人士组成评价小组,从外观形态、香气、滋味、典型性4个方面进行打分,满分100分,取11人的平均分。复合果蔬酒感官评分标准见表1。

表1 复合果蔬酒的感官评分标准

Table 1 Sensory score standards of the compound fruit and vegetable wine

指标	评定标准			
	优	良	中	差
外观形态(20分)	有光泽,澄清透明,悦目协调(16~20分)	较为澄清,无悬浮物,光泽度较好(11~15分)	较浑浊,光泽度较差(6~10分)	浑浊,无光泽,有明显悬浮物(0~5分)
香气(25分)	果香与酒香浓郁协调,无异味(19~25分)	果香与酒香浓郁,较为协调,无异味(13~18分)	果香与酒香不足,稍有异味(7~12分)	果香与酒香不足且香气不协调(0~6分)
滋味(35分)	酒体丰满,醇厚,爽口,无异杂味(28~35分)	酒质较为柔顺,爽口,无异杂味(19~27分)	酒质较为柔顺,欠爽口,有异杂味(10~18分)	酒质寡淡,不爽口,异杂味明显(0~9分)
典型性(20分)	风格优雅独特(16~20分)	风格良好(10~15分)	风格普通(6~10分)	风格无典型性(0~5分)

1.3.5 复合果蔬酒抗氧化活性分析

按照ABTS⁺·、DPPH·、O₂·、·OH试剂盒说明书分别吸取一定量的复合果蔬酒进行操作,测定及分析复合果蔬酒对4种自由基的清除能力,以酿造工艺优化前的复合果蔬酒为对照,考察其抗氧化能力。

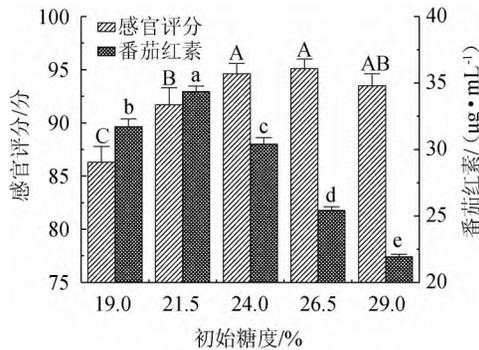
1.3.6 数据统计分析

采用SPSS Statistics 20.0进行数据统计分析,使用Origin Pro 12.1和GraphPad Prism 8.3.0分别绘制单因素试验及抗氧化活性试验的结果图,利用Design-Expert 12.0进行响应面设计结果分析。

2 结果与分析

2.1 复合果蔬酒酿造工艺优化单因素试验

2.1.1 初始糖度对复合果蔬酒感官评分及番茄红素含量的影响



不同大写字母表示感官评分之间差异显著($P < 0.05$),不同小写字母表示番茄红素含量之间差异显著($P < 0.05$)。下同。

图1 初始糖度对复合果蔬酒感官评分及番茄红素含量的影响

Fig. 1 Effects of initial sugar content on the sensory score and lycopene content of the compound fruit and vegetable wine

由图1可知,当初始糖度从19.0%升高至24.0%时,复合果蔬酒的感官评分显著增加($P < 0.05$),最高达到(94.6±1.0)分;但当初始糖度为24.0%、26.5%与29.0%时,复合果蔬酒的感官评分之间无显著性差异($P > 0.05$)。复合果蔬酒的番茄红素含量随着初始糖度的增加呈现出先升后降的趋势,当初始糖度为21.5%时,复合果蔬酒的番茄红素含量最高为(34.35±0.43) µg/mL。糖分是酿酒酵母发酵复合果蔬酒主要动力来源,糖分不足会影响酿酒酵母的生长代谢;酿酒酵母在糖分充足的情况下,会快速生长繁殖而过快消耗营养物质^[25,26]。因而,控制初始糖度能有效保护番茄红素。当初始糖度从21.5%增加到24.0%时,复合果酒的感官评分上升了3.16%,但番茄红素含量减少11.50%。由于风味与健康双导向是食品行业的发展趋势^[27],试验需要兼顾复合果蔬酒的番茄红素含量与感官评分,因此选用初始糖度为19.0%~24.0%用于后续响应面设计。

2.1.2 酿酒酵母接种量对复合果蔬酒感官评分及番茄红素含量的影响

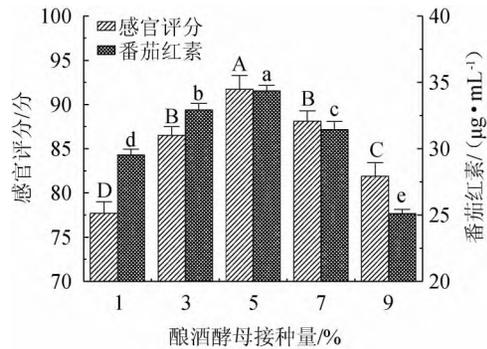


图2 酿酒酵母接种量对复合果蔬酒感官评分及番茄红素含量的影响
Fig. 2 Effects of *Saccharomyces cerevisiae* inoculum on the sensory score and lycopene content of the compound fruit and vegetable wine

由图2可知,随着酿酒酵母接种量的增加,复合果蔬酒的感官评分和番茄红素含量均呈现先升后降的趋势,当酿酒酵母接种量为5%时,复合果蔬酒的感官评分达到了最高的(91.7±1.6)分,番茄红素含量达到了最高(34.35±0.43) µg/mL。当酿酒酵母接种量从1%增加到5%时,由于微生物及相关酶类的增加,能较快地进行发酵,代谢产生乙醇及其他香味物质^[28]。故在相同的发酵时间内,5%的酿酒酵母接种量能使复合果蔬酒获得较高的感官评分及番茄红素含量。当酿酒酵母接种量从5%继续增加时,酿酒酵母在发酵前期大量生长繁殖,快速消耗酒液中的物质,反而使发酵不完全,进而使感官评分呈现出下降的趋势^[29]。因此,选择酿酒酵母接种量为3%~7%用于后续响应面设计。

2.1.3 发酵温度对复合果蔬酒感官评分及番茄红素含量的影响

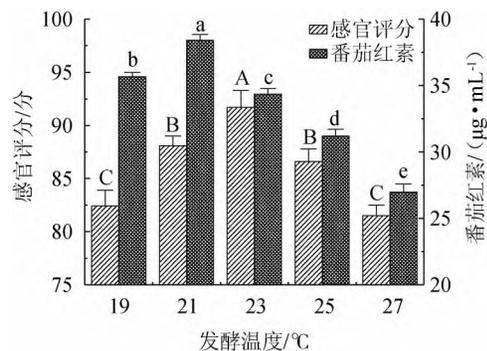


图3 发酵温度对复合果蔬酒感官评分及番茄红素含量的影响
Fig. 3 Effects of fermentation temperature on the sensory score and lycopene content of the compound fruit and vegetable wine

由图3可知,当发酵温度在19~27 °C之间变化时,复合果蔬酒的感官评分随发酵温度的升高呈现出先升后降的趋势,发酵温度为23 °C时,感官评分达到最高为(91.7±1.6)分。当发酵温度低于23 °C时,复合果蔬酒酒体不够丰满,特别地,当发酵温度为19 °C时酒质及香气变得寡淡;

当发酵温度高于23℃时,复合果蔬酒开始出现苦涩味,进而使其感官评分均显著低于91.7分($P<0.05$)。复合果蔬酒的番茄红素含量也随发酵温度的升高呈现出先升后降的趋势,当发酵温度为21℃时,其番茄红素含量最高,为(38.42±0.43) μg/mL。发酵温度从21℃变化到23℃,感官评分增加了4.09%,而番茄红素降低了10.59%。基于风味与健康双导向研发食品的原则^[30],因此选择发酵温度为19~23℃进行后续响应面试验。

2.1.4 发酵时间对复合果蔬酒感官评分及番茄红素含量的影响

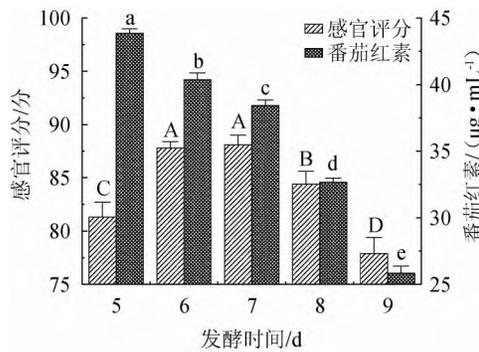


图4 发酵时间对复合果蔬酒感官评分及番茄红素含量的影响

Fig. 4 Effects of fermentation time on the sensory score and lycopene content of the compound fruit and vegetable wine

由图4可知,发酵时间从5 d增加到9 d,复合果蔬酒的感官评分从(81.3±1.4)分上升至(88.1±0.9)分后再降至(77.9±1.5)分。随着发酵时间从5 d增加到7 d时,复合果蔬酒在酿酒酵母的作用下,产生和溶解出较为丰富的香气物质使酒体更加丰满^[31],故其感官评分也随之升高,最高达到了(88.1±0.9)分。然而,随着发酵时间的持续增加,酒体逐渐呈现出酸味,影响口感,故感官评分显著下降($P<0.05$)。

由图4可知,当发酵时间从5 d增加到9 d时,复合果蔬酒的番茄红素含量持续下降,由(43.86±0.32) μg/mL下降至(25.84±0.53) μg/mL。因此,选择发酵时间为5~7 d用于后续试验。

2.2 复合果蔬酒酿造工艺优化响应面法试验

根据单因素试验结果和产品特性,采用Box-Behnken中心组合设计^[32]进行响应面优化试验,结果见表2。

表2 复合果蔬酒酿造工艺优化响应面试验设计及结果

Table 2 Design and results of response surface experiments for fermentation process optimization of the compound fruit and vegetable wine

试验号	A 初始糖度/%	B 酿酒酵母接种量/%	C 发酵温度/℃	D 发酵时间/d	Y ₁ 番茄红素含量/(μg·mL ⁻¹)	Y ₂ 感官评分/分
1	24.0	7	21	6	36.69	73.8
2	19.0	7	21	6	36.41	73.2
3	24.0	5	19	6	38.36	80.1
4	21.5	5	21	6	40.21	88.2
5	21.5	5	21	6	40.45	81.4
6	21.5	7	19	6	36.78	76.8
7	19.0	5	23	6	37.06	74.5
8	19.0	5	21	7	37.71	75.8
9	24.0	5	21	7	37.85	87.8
10	21.5	3	19	6	37.15	77.6
11	24.0	3	21	6	40.12	83.8
12	21.5	5	19	7	36.78	82.5
13	21.5	5	21	6	39.82	86.3
14	24.0	5	21	5	39.61	82.7
15	21.5	7	21	7	37.76	78.9
16	19.0	5	21	5	37.89	76.2
17	21.5	5	23	7	38.27	77.0
18	21.5	3	21	5	39.10	88.7
19	24.0	5	23	6	37.57	78.5
20	21.5	5	21	6	40.91	89.2
21	21.5	5	19	5	39.84	80.1
22	19.0	3	21	6	36.55	84.8
23	21.5	7	21	5	39.80	83.1
24	21.5	3	21	7	36.18	81.2
25	21.5	7	23	6	36.64	76.5
26	21.5	5	21	6	41.19	86.0
27	21.5	5	23	5	36.92	85.7
28	21.5	3	23	6	36.46	73.3
29	19.0	5	19	6	36.64	73.7

分别以番茄红素含量(Y₁)和感官评分(Y₂)为响应值,经回归拟合后,得到相应的回归方程如下。

$$Y_1=40.52+0.66A-0.12B-0.22C-0.72D-0.82AB-0.30AC-0.39AD+0.14BC+0.22BD+1.10CD-1.37A^2-1.73B^2-1.87C^2-0.72D^2$$

$$Y_2=86.22+2.37A-2.26B-0.44C-1.11D+0.40AB-0.60AC+1.38AD+1.00BC+0.83BD-2.78CD-4.43A^2-3.58B^2-5.50C^2-0.08D^2$$

对试验数据进行方差分析,结果如表3所示。

表3 回归模型方差分析

Table 3 Variance analysis of 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	60.83	516.33	14	14	4.34	36.88	7.41	2.50	0.000 3	0.048 5	**	*
A	5.25	67.71	1	1	5.25	67.71	8.96	4.61	0.009 7	0.049 9	**	*
B	0.18	61.20	1	1	0.18	61.20	0.31	4.16	0.585 8	0.060 8		
C	0.58	2.34	1	1	0.58	2.34	0.98	0.16	0.338 4	0.696 1		

续表

方差来源	平方和		自由度		均方		F值		P值		显著性	
	Y ₁	Y ₂										
D	6.18	14.74	1	1	6.18	14.74	10.53	1.00	0.005 9	0.334 0	**	
AB	2.71	0.64	1	1	2.71	0.64	4.61	0.04	0.049 7	0.837 9	*	
AC	0.37	71.44	1	1	0.37	71.44	0.62	4.89	0.442 7	0.047 1		*
AD	0.62	7.56	1	1	0.62	7.56	1.06	0.51	0.319 8	0.485 4		
BC	0.08	4.00	1	1	0.08	4.00	0.13	0.27	0.724 9	0.610 4		
BD	0.19	2.72	1	1	0.19	2.72	0.33	0.18	0.574 7	0.673 8		
CD	4.86	30.80	1	1	4.86	30.80	8.29	2.09	0.012 1	0.170 1	*	
A ²	12.23	127.11	1	1	12.23	127.11	20.85	8.63	0.000 4	0.010 8	**	*
B ²	19.31	82.98	1	1	19.31	82.98	32.93	5.63	0.000 1	0.032 5	**	*
C ²	22.73	196.34	1	1	22.73	196.34	38.74	13.33	0.000 1	0.002 6	**	**
D ²	3.33	0.04	1	1	3.33	0.04	5.68	0.00	0.031 9	0.960 1	*	
残差	8.21	206.17	14	14	0.59	14.73						
失拟项	7.02	170.08	10	10	0.70	17.01	2.36	1.89	0.212 2	0.283 5		
纯误差	1.19	36.09	4	4	0.30	9.02						
总离差	69.04	722.50	28	28								

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)。

根据方差分析,四个因素对复合果蔬酒番茄红素含量的影响次序为D>A>C>B,即发酵时间对复合果蔬酒番茄红素含量的影响最为显著,其次是初始糖度,再次是发酵温度。由P值可知,一次项A、D,二次项A²、B²、C²对复合果

蔬酒番茄红素含量的影响极为显著(P<0.01);交互项AB、CD,二次项D²对复合果蔬酒番茄红素含量的影响达到了显著水平(P<0.05)。四个因素的两两相互作用的响应面图如图5所示。

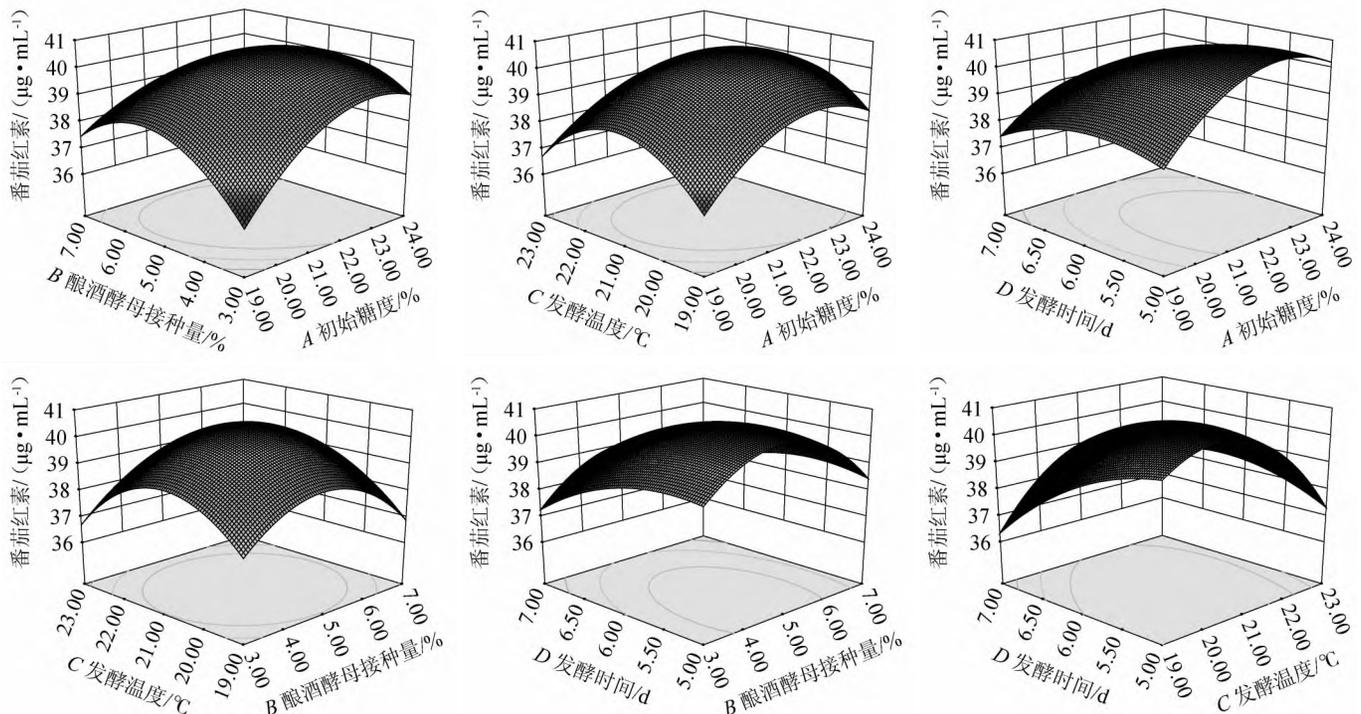


图5 各因素间交互作用对复合果蔬酒番茄红素含量影响的响应曲面及等高线

Fig. 5 Response surface plots and contour lines of effects of interaction between various factors on lycopene content of the compound fruit and vegetable wine

由图5可知,因素A与因素B,因素C与因素D所形成的响应面曲面坡度最为陡峭(颜色变化最快),验证了交互

项AB、CD对复合果蔬酒番茄红素含量的影响达到了显著水平(P<0.05)。

四个因素对复合果蔬酒感官评分的影响次序为A>B>D>C,即初始糖度对复合果蔬酒感官评分的影响最为显著,其次是酿酒酵母接种量,再次是发酵时间。二次项C²对复合果蔬酒感官评分的影响极为显著(P<0.01);一次项A,

交互项AC,二次项A²和B²对复合果蔬酒感官评分的影响达到了显著水平(P<0.05)。由图6可知,因素A与因素C所形成的响应面曲面坡度最为陡峭,验证了交互项AC对复合果蔬酒感官评分的影响达到了显著水平(P<0.05)。

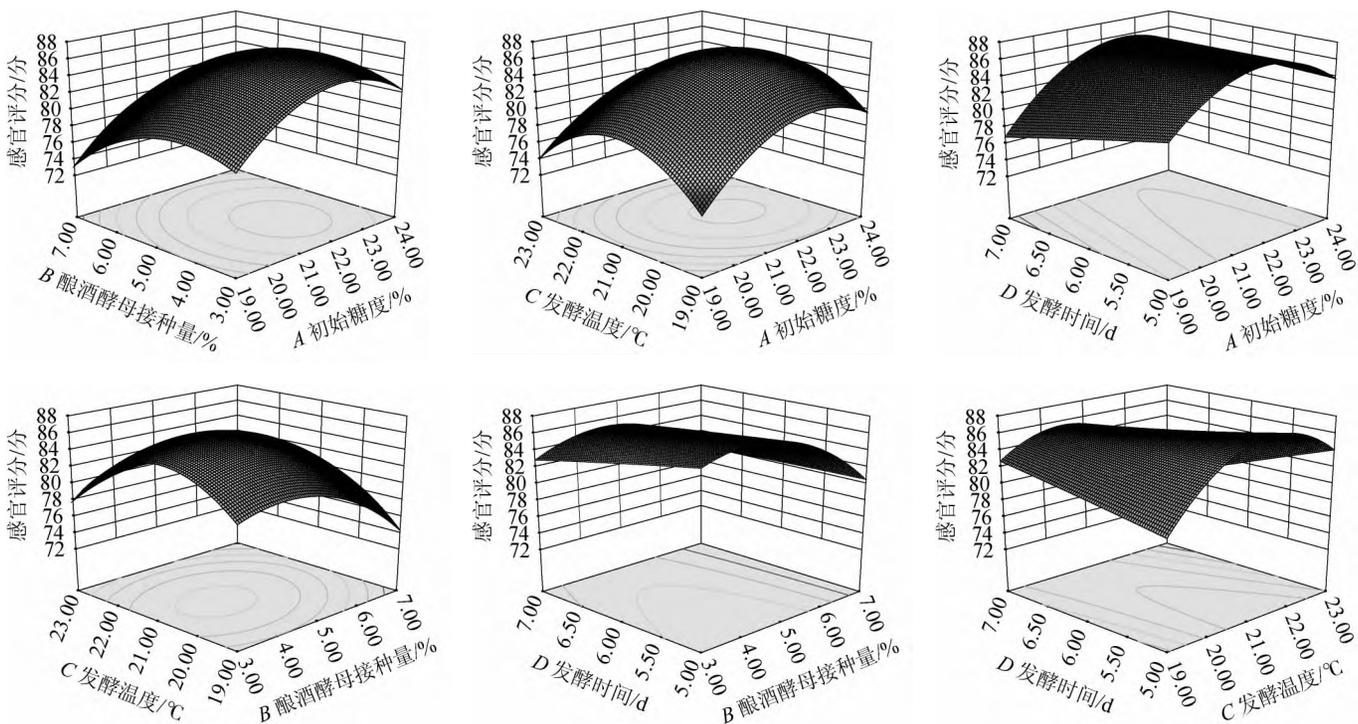


图6 各因素间交互作用对复合果蔬酒感官评分影响的响应曲面及等高线

Fig. 6 Response surface plots and contour lines of effects of interaction between various factors on sensory score of the compound fruit and vegetable wine

2.3 复合果蔬酒酿造工艺优化验证试验

以感官评分为主要评价指标,通过回归模型获得最佳酿造条件为:初始糖度21.71%、酿酒酵母接种量5.53%、发酵温度19.62℃和发酵时间5.00 d。在此优化条件下,感官评分理论值为(90.1±0.0)分。为了便于实际操作,将发酵条件修正为:初始糖度21.7%、酿酒酵母接种量5.5%、发酵温度20℃和发酵时间5.0 d。进行三组验证试验,感官评分实际值为(89.6±1.2)分,与理论值相差不大。番茄红素含量为(40.63±0.49) μg/mL。

2.4 复合果蔬酒的理化指标

在最优条件下得到的复合果蔬酒的总糖为(7.65±0.25) g/L,总酸为(0.46±0.06) g/L,酒精度为(6.43±0.18)%vol,干浸出物为(34.57±1.23) g/L。上述四项指标均符合QB/T 5476—2020《果酒通用技术》要求^[33]。

2.5 复合果蔬酒抗氧化活性

酿造工艺优化前后的复合果蔬酒对ABTS⁺、DPPH[·]、O₂^{·-}、·OH的清除率如图7所示。

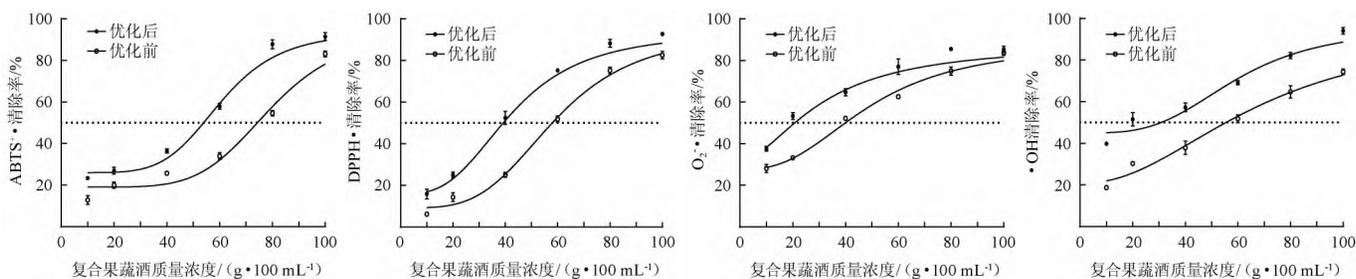


图7 复合果蔬酒的抗氧化性

Fig. 7 Antioxidant activity of compound fruit and vegetable wine

由图7可知,工艺优化前后的复合果蔬酒对ABTS⁺、DPPH[·]、O₂^{·-}、·OH的清除能力均随着酒液体积分数增加而逐渐增强,经过拟合计算得到优化后的复合果蔬酒对上述4种自由基清除率的半最大效应浓度(median effect concentration, EC₅₀)值分别从优化前的73.17 mg/100 mL、59.15 mg/100 mL、39.94 mg/100 mL、56.47 mg/100 mL降低到了54.76 mg/100 mL、39.71 mg/100 mL、20.08 mg/100 mL、30.18 mg/100 mL。综上,通过酿造工艺优化后的复合果蔬酒因番茄红素含量从(19.57±0.52) μg/mL显著升高(P<0.05)到了(40.63±0.49) μg/mL,进而增强了复合果蔬酒的抗氧化活性。

3 结论

以番茄、芒果、南瓜和枇杷的果蔬浆汁为原料,添加白砂糖调整果蔬浆汁初始浓度为21.7%,巴氏灭菌冷却后接入5.5%酿酒酵母菌悬液,20℃静置发酵5.0 d后可以获得感官品质优良(感官评分为89.6分)的复合果蔬酒,且理化指标均符合QB/T 5476—2020《果酒通用技术》要求。其番茄红素含量从优化前的(19.57±0.52) μg/mL显著升高(P<0.05)到了(40.63±0.49) μg/mL,对ABTS⁺、DPPH[·]、O₂^{·-}、·OH清除率的EC₅₀值分别优化前的73.17 mg/100 mL、59.15 mg/100 mL、39.94 mg/100 mL、56.47 mg/100 mL降低到了54.76 mg/100 mL、39.71 mg/100 mL、20.08 mg/100 mL、30.18 mg/100 mL。因此,采用果肉与果汁共同酿造技术,可显著提高复合果蔬酒的番茄红素含量,增强了抗氧化活性,进而提升其保健价值。

参考文献:

[1] 杨成,姜欣,李晨妍,等.类胡萝卜素立体异构体构效关系及其应用研究进展[J].食品与生物技术学报,2023,42(4):1-15.
[2] BOHM V. Carotenoids[J]. *Antioxidants*, 2019, 8(11): 516.
[3] SANDMANN G. Carotenoids and their biosynthesis in fungi[J]. *Molecules*, 2022, 27(4): 1431.
[4] MAOKA T. Carotenoids as natural functional pigments[J]. *J Nat Med*, 2020, 74(1): 1-16.
[5] 孙新怡,孙清瑞,李秀波,等.类胡萝卜素异构化及其对生物活性和生物利用度影响的研究进展[J].食品工业科技,2023,44(21):412-420.
[6] EGGERSDORFER M, WYSS A. Carotenoids in human nutrition and health[J]. *Arch Biochem Biophys*, 2018, 652: 18-26.
[7] HONG H T, TAKAGI T, O'HARE T J. An optimal saponification and extraction method to determine carotenoids in avocado[J]. *Food Chem*, 2022, 387: 132923.
[8] GOMEZ-MAQUEO A, BANDINO E, HORMAZA J I, et al. Characterization and the impact of *in vitro* simulated digestion on the stability and bioaccessibility of carotenoids and their esters in two *Pouteria lucuma* varieties[J]. *Food Chem*, 2020, 316: 126369.
[9] SANTOS K C, GUEDES J S, ROJAS M L, et al. Enhancing carrot convective drying by combining ethanol and ultrasound as pre-treatments: Effect on product structure, quality, energy consumption, drying and rehydration kinetics[J]. *Ultrason Sonochem*, 2021, 70: 105304.

[10] 乔强.番茄红素保健功能研究及其应用进展[J].现代食品,2022,28(13):20-22.
[11] VARELA E, GOMES A, DA S B D S, et al. Potential benefits of lycopene consumption: rationale for using it as an adjuvant treatment for malaria patients and in several diseases[J]. *Nutrients*, 2022, 14(24): 5303.
[12] 潘晓威,叶剑芝,苏子鹏,等.番茄红素生物学功能研究进展及应用前景[J].现代农业科技,2018(1):237-238.
[13] LIU K Y, LIU X Y, WANG T, et al. Optimization of main ingredient ratio, metabolomics analysis, and antioxidant activity analysis of lycopene-enriched compound fruit wine[J]. *Fermentation*, 2023, 9(7): 591.
[14] 修伟业,黎晨晨,王艺鎊,等.番茄红素生物学功能研究进展[J].食品科技,2020,45(1):322-325.
[15] 朱原,张永英,朱海波,等.番茄红素生物学功能研究进展[J].食品研究与开发,2020,41(18):202-207.
[16] 刘琨毅,刘祥宇,王琪,等.D-最优混料设计优化富含番茄红素复合果蔬酒的主料配比[J].中国酿造,2022,41(2):164-169.
[17] 陈兴思.番茄发酵产品研制[D].大连:大连工业大学,2015.
[18] 刘英杰,黄钧,刘建,等.不同接种方式对青梅酒品质的影响及微生物多样性研究[J].食品与发酵工业,2021,47(21):59-66.
[19] 叶片,刘建,黄均,等.不同种属酵母菌共培养发酵桑葚酒的工艺优化[J].食品与发酵工业,2020,46(8):173-178.
[20] 肖胜舰,郭浩,黄钧,等.甜型梨酒发酵过程中理化指标和挥发性组分的时间变化特征[J].食品与发酵工业,2020,46(21):55-61.
[21] 刘琨毅,王利妍,安江珊,等.阿曲霉接菌发酵普洱茶的研究[J].轻工学报,2022,37(4):1-9.
[22] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会.GB/T 15038—2006 葡萄酒、果酒通用分析方法[S].北京:中国标准出版社,2006.
[23] 国家卫生健康委员会,国家市场监督管理总局.GB 12456—2021 食品安全国家标准 食品中总酸的测定[S].北京:中国标准出版社,2021.
[24] 中华人民共和国国家卫生健康委员会,国家市场监督管理总局.GB 5009.225—2023 食品安全国家标准 酒和食用酒精中乙醇浓度的测定[S].北京:中国标准出版社,2023.
[25] 刘琨毅,罗慧,李崇萍,等.响应面优化人参果铁皮石斛花复合果酒生产工艺[J].食品研究与开发,2021,42(18):56-64.
[26] 文星科,王琪,刘琨毅.Box-Behnken中心组合设计研发新型开菲尔乳酒[J].食品研究与开发,2020,41(10):148-155.
[27] 孙宝国.双轮驱动创新提升未来食品安全与健康内涵[J].食品科学技术学报,2022,40(4):1-4.
[28] 刘琨毅,串俊刚,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.
[29] 黄慧芬.米香型白酒酿造产香酵母的筛选鉴定及其产酯规律研究[D].长沙:中南林业科技大学,2018.
[30] 张莉莉,张玉玉,聂少平,等.食品功能性配料产业现状与发展趋势[J].中国食品学报,2024,24(5):41-57.
[31] 江宇琪,王琪,刘琨毅,等.Box-Behnken中心组合设计优化复合奶酒发酵工艺[J].中国乳品工业,2019,47(4):60-64.
[32] WANG Q, ZHANG Q, LIU K Y, et al. Optimization of solid-state fermentation technology and analysis of key aroma components of compound rice wine[J]. *Food Sci Technol Res*, 2022, 28(1): 35-43.
[33] 中华人民共和国工业和信息化部.QB/T 5476—2020 果酒通用技术要求[S].北京:中国轻工业出版社,2020.