

DOI: 10.12161/j.issn.1005-6521.2025.02.009

超高压微射流处理对红枣酒理化特性和品质的影响

张田^{1,2}, 蔡文超³, 马佳佳^{1,2}, 王玉荣^{1,2}, 单春会³, 郭壮^{1,2*}

(1. 湖北文理学院 湖北省食品配料工程技术研究中心, 湖北 襄阳 441053; 2. 湖北文理学院 乳酸菌生物技术与工程襄阳市重点实验室, 湖北 襄阳 441053; 3. 石河子大学 食品学院, 新疆 石河子 832000)

摘要: 在使用 *Saccharomyces cerevisiae* YSC29-2 菌株进行红枣酒制备的基础上, 以 20、40、60、80、100、120、140、160 MPa 压力下超高压微射流处理后的红枣酒为研究对象, 并以未经任何处理的红枣酒为对照组, 通过使用常规、色度仪、电子鼻和电子舌等检测方法, 从理化、色泽、风味和滋味 4 个维度解析不同压力梯度下超高压微射流处理对红枣酒品质的影响。结果表明: 随超高压微射流均质压力的增加, 红枣酒的酒精度在整体上显著下降 ($P < 0.05$), L^* 值 (明亮度) 和 b^* 值 (黄蓝值) 等色泽指标显著增加 ($P < 0.05$), 芳香类风味物质显著增加 ($P < 0.05$), 有机硫化物等缺陷型风味物质显著降低 ($P < 0.05$), 同时, 在 160 MPa 压力处理下红枣酒的 L^* 值、 b^* 值和对芳香类风味物质敏感的传感器响应值均为最大。综上, 超高压微射流技术可有效提升红枣酒的色泽和风味品质, 且当均质压力为 160 MPa 时, 其品质最佳。

关键词: 超高压微射流技术; 均质压力; 红枣酒; 理化特性; 品质

Effects of Ultra High-Pressure Microfluidization on the Physicochemical Properties and Quality of Jujube Wine

ZHANG Tian^{1,2}, CAI Wenchao³, MA Jijia^{1,2}, WANG Yurong^{1,2}, SHAN Chunhui³, GUO Zhuang^{1,2*}

(1. Hubei Provincial Engineering and Technology Research Center for Food Ingredients, Hubei University of Arts and Science, Xiangyang 441053, Hubei, China; 2. Xiangyang Lactic Acid Bacteria Biotechnology and Engineering Key Laboratory, Hubei University of Arts and Science, Xiangyang 441053, Hubei, China; 3. School of Food Science and Technology, Shihezi University, Shihezi 832000, Xinjiang, China)

Abstract: On the basis of jujube wine production with *Saccharomyces cerevisiae* YSC29-2, ultra high-pressure microfluidization was performed at 20, 40, 60, 80, 100, 120, 140, and 160 MPa, respectively. The jujube wine without any treatment was taken as the control group. The effects of ultra high-pressure microfluidization on the quality of jujube wine were analyzed from four dimensions of physicochemical properties, color, flavor, and taste by conventional detection, colorimeter, electronic nose, and electronic tongue methods. The results showed that with the increase in the homogenization pressure of ultra high-pressure microfluidization, the jujube wine demonstrated reduced alcohol content ($P < 0.05$), increased L^* value (brightness) and b^* value (yellow and blue) ($P < 0.05$), increased aromatic compounds ($P < 0.05$), and reduced odourous compounds such as organic sulfides ($P < 0.05$). The L^* value, b^* value, and the sensor response values sensitive to aromatic compounds of jujube wine were the highest under ultra high-pressure microfluidization at 160 MPa. The results indicated the ultra high-pressure microfluidization could improve the color and flavor quality of jujube wine, and the jujube wine produced with high-pressure microfluidization at 160 MPa had the best quality.

Key words: ultra high-pressure microfluidization; homogeneous pressure; jujube wine; physicochemical properties; quality

基金项目: 新疆重点产业创新发展支撑计划项目(2022DB007); 湖北文理学院教师科研能力培育基金“科技创新团队”项目(2020kypytd009)
作者简介: 张田(2004—), 女(汉), 本科在读, 研究方向: 食品生物技术。

*通信作者: 郭壮(1984—), 男(汉), 教授, 博士, 研究方向: 食品生物技术。

引文格式:

张田,蔡文超,马佳佳,等.超高压微射流处理对红枣酒理化特性和品质的影响[J].食品研究与开发,2025,46(2):63-68.
ZHANG Tian, CAI Wenchao, MA Jiajia, et al. Effects of Ultra High-Pressure Microfluidization on the Physicochemical Properties and Quality of Jujube Wine[J]. Food Research and Development, 2025, 46(2): 63-68.

红枣(*Ziziphus jujuba* Mill.)是一种药食同源性食品^[1],隶属于鼠李科枣属,原产于中国并广泛种植于新疆、山东、河北和甘肃等地^[2],其富含多种蛋白质、氨基酸、碳水化合物和维生素等营养物质,具有药、食、补三大功能^[3]。红枣酒是一种以成熟的红枣为原料发酵而成的饮料,不仅具有独特的枣香和酒香,还具有很高的营养保健价值^[4-5]。红枣酒的酿造过程本质上是微生物生长代谢的过程,而酿酒酵母(*Saccharomyces cerevisiae*)作为一种在果酒生产中占主导地位的酵母菌种,其在发酵过程中不仅有利于果酒的抗氧化,还可赋予其独特的风味和滋味品质^[6]。近年来,随着人们生活水平的提高,果酒的风味和品质越来越受到消费者的重视。因此,积极开展对红枣酒风味品质的研究已成为目前的关注热点。

超高压微射流技术(ultra high-pressure microfluidization, UHPM)是一种新兴的流体食品连续生产技术,其工作原理是通过相互作用的微通道提供超高压(200 MPa)来输送多相流体,使流体在5 s内处于高速冲击、强剪切、高频振动、瞬时降压、空化和膨化等作用力状态中,从而获得更细微、粒径更小、稳定性更高的流体产品^[7-8]。电子鼻和电子舌作为一种模拟人类嗅觉和味觉系统的人工智能仪器,两者具有灵敏度高、成本效益低、重复性好和分析快速等优点,从而可以客观地检测食品中香气的细微变化^[9-10]。刘丹丹等^[11]使用电子鼻和电子舌等仿生设备对30、60、90、120 MPa均质压力下超高压微射流处理后的猕猴桃果酒风味和滋味品质进行分析,发现随着超高压微射流均质压力的增加,猕猴桃果酒中有机硫化物和烷烃类化合物等缺陷型气味明显降低,而其鲜味明显增加。由此可见,将电子鼻和电子舌技术结合起来检测不同均质压力下超高压微射流处理后的红枣酒品质变化具有一定的可行性,同时可进一步推测,随着超高压微射流均质压力的继续增加,果酒品质亦将继续得到提升。

在超高压微射流均质机使用的安全范围内,本研究使用超高压微射流技术对红枣酒进行20、40、60、80、100、120、140、160 MPa共8个梯度压力处理,并以未经任何处理的红枣酒为对照组,通过常规、色度仪、电子鼻和电子舌等检测方法,从理化、色泽、风味和滋味这4个维度来评价不同压力梯度下超高压微射流处理对红枣酒品质的影响,以期超高压微射流技术在红枣酒加工中的应用提供数据支撑。

1 材料与方法

1.1 材料、试剂与设备

酿酒酵母(*Saccharomyces cerevisiae*) YSC29-2菌株:分离筛选自四川米酒样品,由湖北文理学院鄂西北传统发酵食品菌种资源库提供;酵母浸出粉胨葡萄糖培养基(YPD):北京奥博星生物技术有限责任公司;骏枣(*Jun jujuba*):昌吉市金品成商贸有限公司;白砂糖:市售;酒石酸(食品级):天津市致远化学试剂有限公司;偏重亚硫酸钾(食品级)、无水乙醇(分析纯):国药集团化学试剂有限公司;果胶酶(50 000 U/g):湖北糖柜股份有限公司;参比溶液、内部液、阴阳离子溶液:日本INSENT公司。

SHP-080数显生化培养箱:上海精宏实验设备有限公司;Ah-2010超高压微射流均质机:安拓思纳米技术(苏州)有限公司;CR21N高速冷冻离心机:日本日立(HI-TACHI)公司;PHS-25型数显pH计:上海仪电科学仪器股份有限公司;Abbemat350全自动折光仪:奥地利安东帕公司;Ultra Scan PRO色度仪:美国Hunter Lab公司;PEN3电子鼻:德国Airsense公司;SA 402B电子舌:日本INSENT公司。

1.2 试验方法

1.2.1 菌株的活化

吸取冻存的*S. cerevisiae* YSC29-2菌液于3 mL YPD液体培养基中进行活化,28℃条件下,200 r/min振荡培养24 h,按照相同的方法传代两次后接种于50 mL YPD液体培养基中进行培养,4℃条件下,3 000 r/min离心10 min获得菌体,使用0.85%生理盐水对其进行3次清洗后,再次加入0.85%生理盐水制备成菌悬液备用^[12]。

1.2.2 红枣酒的制备

红枣酒制备工艺流程^[13]:骏枣前处理(挑选、清洗、去核)→打浆(加水)→杀菌→酶解→调配(白砂糖、酒石酸)→接菌发酵→过滤、离心→成品。

操作要点:将去核的骏枣按照料液比1:5(g/mL)与去离子水进行混合打浆,同时按照质量分数0.006%加入偏重亚硫酸钾进行杀菌30 min,然后以质量分数0.3%加入果胶酶进行酶解,45℃酶解2 h后分别使用白砂糖和酒石酸将红枣汁的可溶性固形物和pH值分别调至22°Bx和3.90,继而按照质量分数0.025%接入*S. cerevisiae* YSC29-2菌株进行22℃恒温发酵,当红枣酒糖浓度保持稳定且72 h内没有发生变化时,则表

示该红枣酒已发酵完成^[14],最后使用纱布袋进行过滤,再于4℃条件下10 000 r/min离心10 min,将取得的上清液放置于4℃低温下保存。

1.2.3 超高压微射流技术处理

采用超高压微射流均质机对红枣酒样品进行不同均质压力处理^[15],分别设置压力条件为20、40、60、80、100、120、140、160 MPa共8个梯度,待处理完成后将其灌装于500 mL样品瓶中并注明编号,同时将未经超高压微射流处理的红枣酒样品记为对照组。

1.2.4 红枣酒理化指标的测定

参照GB/T 15038—2006《葡萄酒、果酒通用分析方法》中的具体操作方法对红枣酒的酒精度进行测定。采用全自动折光仪对红枣酒样品的可溶性固形物含量进行测定^[16],同时使用去离子水进行校正。使用数显pH计对红枣酒样品的pH值进行测定。每个样品平行测定3次。

1.2.5 红枣酒色泽品质评价

参照Cai等^[17]对红枣汁色泽评价的方法,使用色度仪对红枣酒样品的色泽指标进行测定。色度仪在使用前需预热2 h以确保测量值的稳定,将样品置于10 mm×50 mm×50 mm的比色皿中,并选取“透射”模式对其L*值(明亮度)、a*值(红绿度)和b*值(黄蓝度)进行测定。 ΔE 值表示处理后红枣酒的色泽(L*值、a*值、b*值)与未经处理的红枣酒的色泽(L₀*值、a₀*值、b₀*值)的色差值,具体计算公式如下。

$$\Delta E = \sqrt{(L^* - L_0^*)^2 + (a^* - a_0^*)^2 + (b^* - b_0^*)^2}$$

1.2.6 红枣酒风味和滋味品质评价

风味指标的测定:准确吸取20 mL红枣酒样品于电子鼻专用样品瓶中,室温下平衡30 min后,参照Wang等^[18]对酸粥风味品质评价的测定方法,使用电子鼻对样品的风味特征进行数字化评价。其中,可用于发酵食品的电子鼻传感器包括W1C(对芳香物质灵敏)、W3C(对芳香物质灵敏)、W5C(对芳香物质灵敏)、W1W(对有机硫化物和萜烯类物质灵敏)、W2W(对有机硫化物灵敏)、W2S(对醇和部分芳香族化合物灵敏)和W3S(烷烃类)。

滋味指标的测定:电子舌在使用时其参比电极需提前浸泡于标准溶液中活化24 h,量取80 mL红枣酒样品于电子舌样品杯中,参照于志海等^[19]对火龙果发酵酒滋味品质评价的测定方法,使用电子舌对样品的酸味、苦味、涩味、咸味、鲜味、后味A(涩的回味)、后味B(苦的回味)和丰度(鲜的回味)这8种味觉响应值进行检测。

1.3 数据处理

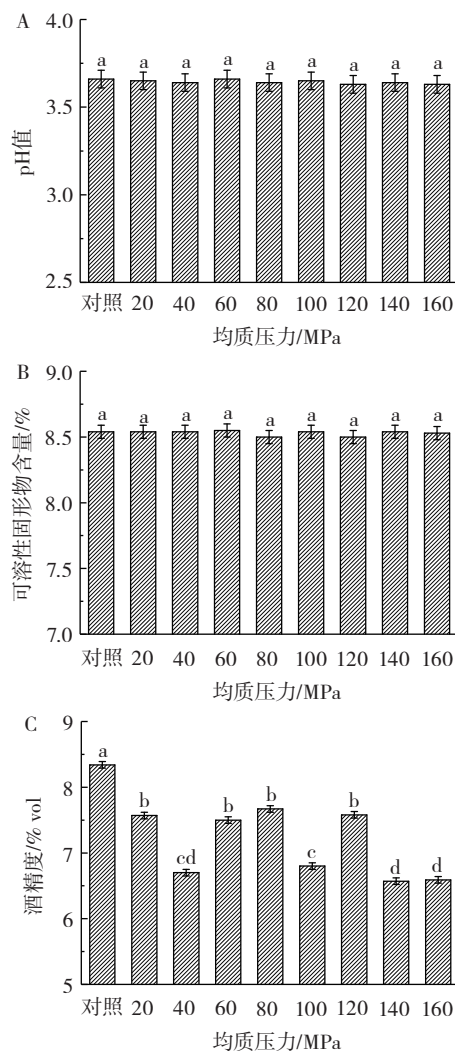
使用Excel 2016进行数据整理,使用stst方差分析软件分析各测定指标的差异显著性,使用SAS和

Origin 2017软件进行主成分分析(principal component analysis, PCA)并绘制柱形图、因子载荷图和因子得分图。

2 结果与分析

2.1 不同均质压力梯度处理对红枣酒理化指标的影响

采用常规检测方法对不同均质压力梯度超高压微射流处理后的红枣酒3个理化指标(pH值、可溶性固形物含量和酒精度)的测定结果如图1所示。



不同字母表示不同均质压力梯度下差异显著($P < 0.05$)。

图1 超高压微射流不同均质压力梯度处理对红枣酒理化指标的影响

Fig.1 Effects of ultra high-pressure microfluidization at different homogeneous pressure on the physicochemical properties of jujube wine

由图1A和图1B可知,超高压微射流不同均质压力梯度处理下9组红枣酒样品的pH值和可溶性固形物含量2个理化指标差异均不显著($P > 0.05$)。由图1C可知,与对照组相比,红枣酒样品经超高压微射流20、40、60、80、100、120、140、160 MPa处理后,其酒精

度指标在整体上呈现显著下降趋势($P<0.05$),其中140、160 MPa 处理的红枣酒样品酒精度较低,分别为6.57% vol 和 6.59% vol。研究指出,超高压微射流技术是利用高速冲击、高频振动、瞬时降压、强剪切、空化和超高压等强大合力作用于流体,从而使流体的物理性质发生变化^[20]。红枣酒在这种均质过程中,其内部大分子物质由于受到高速撞击和超高压等强作用力,可能会造成样品中醇类物质部分挥发,使得红枣酒的酒精度降低。综上,经超高压微射流不同压力梯度处理后,红枣酒的酒精度在整体上明显下降。

2.2 不同均质压力梯度处理对红枣酒品质的影响

进一步使用色度仪、电子鼻和电子舌等一系列仿生设备对红枣酒的色泽、风味和滋味品质进行数字化评价^[21],其中,超高压微射流不同均质压力梯度处理的红枣酒色泽品质分析结果如表1所示。

由表1可知,对照组红枣酒的平均 L^* 值(明亮度)、 a^* 值(红绿度)和 b^* 值(黄蓝度)分别为69.47、8.04和66.66,经超高压微射流不同均质压力梯度处理后,红枣酒的 L^* 值和 a^* 值在整体上呈现明显上升趋势,其中160 MPa 处理的红枣酒样品 L^* 值显著升高($P<0.05$),为70.17。而 b^* 值随着均质压力的增加并无显著变化($P>0.05$)。结果表明,经超高压微射流处理后,红枣酒颜色整体偏亮和偏红。有研究指出,随着均质压力的增加,细胞破碎程度变大,从而导致花色苷和黄酮等色素化合物的溶出^[22]。此外,浑浊度是果酒内果胶、蛋白质、脂质和纤维素等不溶性颗粒分散的结

表1 超高压微射流不同均质压力梯度处理对红枣酒色泽品质的影响

Table 1 Effects of ultra high-pressure microfluidization at different homogeneous pressure on the color quality of jujube wine

均质压力/MPa	L^* 值	a^* 值	b^* 值	ΔE 值
对照	69.47±0.90 ^b	8.04±0.12 ^b	66.66±0.56 ^a	
20	69.58±0.28 ^b	8.70±0.30 ^a	66.67±0.71 ^a	0.67
40	69.67±1.00 ^b	8.46±0.25 ^a	67.22±0.48 ^a	0.73
60	69.67±1.00 ^b	8.51±0.06 ^a	67.30±0.29 ^a	0.82
80	69.66±0.53 ^b	8.63±0.13 ^a	67.35±0.78 ^a	0.93
100	69.85±0.37 ^b	8.61±0.06 ^a	67.60±0.26 ^a	1.16
120	68.96±0.69 ^b	8.43±0.20 ^a	67.66±0.89 ^a	1.18
140	68.69±0.71 ^b	8.38±0.23 ^a	66.77±0.22 ^a	0.86
160	70.17±0.79 ^a	8.42±0.18 ^a	67.76±0.56 ^a	1.36

注:同列不同字母表示存在显著性差异($P<0.05$)。

果^[23],随着均质压力的增加,果酒的粒径减小,更多的光可以透射,从而导致红枣酒的明亮度明显提高。与对照组相比,160 MPa 压力下超高压微射流处理后的红枣酒色差值最大,为1.36;120 MPa 和 100 MPa 次之,分别为1.18和1.16;其余压力梯度处理下红枣酒的色差值均小于1.00。综上,超高压微射流处理可明显提升红枣酒的色泽品质,使其整体更加明亮鲜红,且160 MPa 压力处理对其色泽品质影响最明显。

超高压微射流不同均质压力梯度处理的红枣酒风味品质分析结果如表2所示。

表2 超高压微射流不同均质压力梯度处理对红枣酒风味品质的影响

Table 2 Effects of high-pressure microfluidization at different homogeneous pressure on the flavor quality of jujube wine

均质压力/MPa	W1C	W3C	W5C	W1W	W2S	W2W	W3S
对照	0.02±0.01 ^e	0.04±0.01 ^e	0.03±0.01 ^{cd}	187.20±0.12 ^e	40.98±0.01 ^a	2.77±0.02 ^b	5.48±0.01 ^d
20	0.01±0.01 ^d	0.03±0.01 ^e	0.02±0.01 ^f	188.85±0.57 ^b	30.77±0.03 ^d	2.82±0.01 ^a	5.84±0.04 ^b
40	0.02±0.01 ^e	0.03±0.01 ^{cd}	0.03±0.01 ^{cd}	172.76±0.31 ^f	26.72±0.04 ^e	2.74±0.02 ^{bc}	5.33±0.03 ^e
60	0.02±0.01 ^e	0.04±0.01 ^e	0.03±0.01 ^{bc}	172.86±0.25 ^f	27.06±0.02 ^f	2.72±0.02 ^{bc}	5.35±0.02 ^e
80	0.02±0.01 ^e	0.03±0.01 ^{cd}	0.03±0.01 ^{de}	180.41±0.07 ^d	32.39±0.04 ^b	2.73±0.03 ^{bc}	5.52±0.02 ^e
100	0.02±0.01 ^e	0.03±0.01 ^d	0.03±0.01 ^{de}	178.85±0.18 ^e	27.90±0.02 ^e	2.75±0.04 ^{bc}	5.89±0.01 ^a
120	0.02±0.01 ^e	0.04±0.01 ^e	0.02±0.01 ^f	189.44±0.33 ^a	31.51±0.16 ^e	2.71±0.02 ^e	5.35±0.02 ^e
140	0.02±0.01 ^b	0.04±0.01 ^b	0.03±0.01 ^{bc}	165.72±0.33 ^e	25.31±0.17 ^b	2.64±0.02 ^d	4.79±0.01 ^f
160	0.03±0.01 ^a	0.05±0.01 ^a	0.03±0.01 ^a	156.61±0.31 ^b	26.15±0.03 ^e	2.48±0.01 ^e	3.90±0.02 ^e

注:同列不同字母表示存在显著性差异($P<0.05$)。

由表2可知,与对照组相比,对芳香类物质灵敏的传感器 WC(W1C、W3C 和 W5C)对超高压微射流处理后的红枣酒响应值明显偏大,而对有机硫化物灵敏的传感器 WW(W1W 和 W2W)和对烷烃类和醇类灵敏的传感器 WS(W2S 和 W3S)在整体上均呈现出相反的趋势,原因可能与高压状态下果酒发生的氧化还原反应有关^[24]。对8个处理压力进行比较发现,当超高压微射流处理压力为160 MPa 时,WC 传感器(W1C、W3C、

W5C)对红枣酒的响应值最大,分别为0.03、0.05和0.03,此外,对有机硫化物灵敏的 WW 传感器对红枣酒的响应值最小,分别为156.61和2.48。综上所述,与未处理的红枣酒相比,超高压微射流处理均显著提升红枣汁的芳香类化合物含量($P<0.05$),且以160 MPa 均质压力效果最为显著($P<0.05$)。

超高压微射流不同均质压力梯度处理的红枣酒滋味品质分析结果如表3所示。

表3 超高压微射流处理对红枣酒滋味品质的影响

Table 3 Effects of high-pressure microfluidization on the taste quality of jujube wine

滋味指标	平均值	中位数	最大值	最小值	极差值
酸味	-0.61	-0.61	-0.58	-0.62	0.05
苦味	3.36	3.37	3.39	3.30	0.09
涩味	0.86	0.86	0.90	0.84	0.06
咸味	8.78	8.78	8.83	8.69	0.14
鲜味	5.80	5.86	6.13	5.52	0.60
后味 A	0.96	0.96	0.98	0.94	0.04
后味 B	1.19	1.20	1.25	1.12	0.13
丰度	0.66	0.67	0.69	0.60	0.08

由表3可知,经超高压微射流处理后,红枣酒的鲜味指标响应值变化最大,其极差值为0.60,咸味和后味B指标次之,分别为0.14和0.13,而苦味、丰度、涩味、酸味和后味A指标响应值的变化较小,其极差值分别为0.09、0.08、0.06、0.05和0.04。尽管8个滋味指标存在差异,但其极差值均小于1.00^[25],不足以通过感官鉴别区分,因此,该差异不会影响消费者的喜好。综上所述,与未处理的红枣酒相比,超高压微射流处理对红枣酒的滋味品质无明显影响($P>0.05$)。

2.3 基于红枣酒理化指标、色泽和风味品质的主成分分析

通过上述分析发现,经超高压微射流不同均质压力梯度处理后,红枣酒在酒精度、色泽和风味指标上存在显著差异,因此,基于差异性指标对红枣酒进行主成分分析(principal component analysis, PCA),其因子载荷图如图2所示。

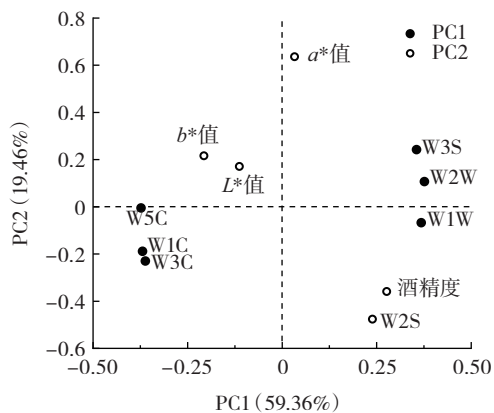


图2 基于理化指标、色泽和风味品质的因子载荷图

Fig.2 Factor load plot based on physicochemical properties, color quality, and flavor quality

由图2可知,总方差贡献率被第一主成分(PC1)和第二主成分(PC2)所解释,为78.82%。其中,PC1主要由6个风味指标组成,分别为对芳香类物质灵敏的W1C、W3C和W5C传感器、对有机硫化物灵敏的W1W和W2W传感器和对烷烃类灵敏的W3S传感器,其方差贡献率为59.36%;PC2主要由1个理化指

标、1个风味指标和3个色泽指标组成,分别为酒精度、对乙醇灵敏的W2S传感器、 L^* 值、 a^* 值和 b^* 值,其方差贡献率为19.46%。同时,与红枣酒相关的优良指标主要分布于X轴负半轴,其中,对芳香类物质灵敏的风味特征指标主要集中于第三象限, L^* 值、 b^* 值主要集中于第二象限。因此,若对应于因子得分图中,分布于第三象限的红枣酒样品品质最佳。

基于红枣酒差异性指标的因子得分图如图3所示。

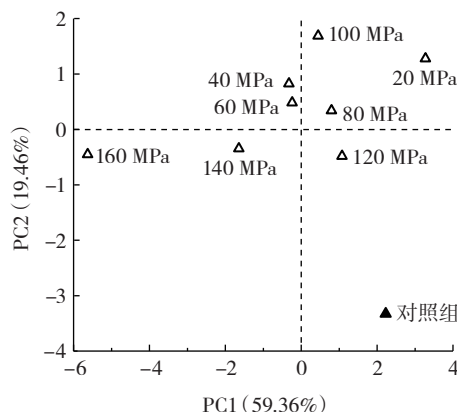


图3 基于理化指标、色泽和风味品质的因子得分图

Fig.3 Factor score plot based on physicochemical properties, color quality, and flavor quality

由图3可知,经超高压微射流不同均质压力梯度处理的红枣酒样品与对照组样品具有明显的分离趋势,对照组红枣酒分布于第四象限,而不同均质压力梯度超高压微射流处理组的红枣酒主要分布于第一、二和三象限。由此可见,超高压微射流处理可明显改善红枣酒的品质。结合因子载荷图的分析可知,当超高压微射流处理压力为160 MPa时,红枣酒的品质更佳。

3 结论

采用 *Saccharomyces cerevisiae* YSC29-2 菌株制备红枣酒,并在20、40、60、80、100、120、140、160 MPa均质压力范围下对其加压,以评估超高压微射流技术对红枣酒品质的影响。结果表明,超高压微射流处理后的红枣酒的pH值和可溶性固形物含量与未处理组无显著差异,而酒精度随均质压力的增加整体上呈现明显下降趋势。在红枣酒感官指标方面,与对照组相比,超高压微射流处理可显著提升红枣酒的色泽和风味,主要体现在亮度、黄蓝度和芳香类化合物含量上,而对滋味的影响较小。当均质压力为160 MPa时,红枣酒的亮度和黄度最大,与对照组相比色差值为1.36,此时红枣酒的芳香类化合物含量达到最高,有机硫化物含量最低。综上所述,超高压微射流技术处理可以显著改变红枣汁的理化指标和感官指标,进而提升红枣酒的品质,且较优均质压力为160 MPa。

参考文献:

- [1] 贾宇尧, 石然启, 高京草, 等. 不同品种红枣香气分析与评价[J]. 食品研究与开发, 2023, 44(18): 165-171.
JIA Yuyao, SHI Ranqi, GAO Jingcao, et al. Aromas and quality of different jujube cultivars[J]. Food Research and Development, 2023, 44(18): 165-171.
- [2] GAO Z, SHI W, WANG X, et al. Non-rainfall water contributions to dryland jujube plantation evapotranspiration in the Hilly Loess Region of China[J]. Journal of Hydrology, 2020, 583: 124604.
- [3] CAI W C, TANG F X, GUO Z, et al. Effects of pretreatment methods and leaching methods on jujube wine quality detected by electronic senses and HS-SPME-GC-MS[J]. Food Chemistry, 2020, 330: 127330.
- [4] ZHAO Y, YU X B, ZHU F T, et al. Effects of different winemaking yeasts on the composition of aroma-active compounds and flavor of the fermented jujube wine[J]. Processes, 2021, 9(6): 970.
- [5] LEE J E, YUN J H, LEE A R, et al. Volatile components and sensory properties of jujube wine as affected by material preprocessing[J]. International Journal of Food Properties, 2018, 21(1): 2052-2061.
- [6] HUR S J, LEE S Y, KIM Y C, et al. Effect of fermentation on the antioxidant activity in plant-based foods[J]. Food Chemistry, 2014, 160: 346-356.
- [7] LIU W, LIU J H, XIE M Y, et al. Characterization and high-pressure microfluidization-induced activation of polyphenoloxidase from Chinese pear (*Pyrus pyrifolia* Nakai)[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2009, 57(12): 5376-5380.
- [8] ZHANG W, XIE F, LAN X H, et al. Characteristics of pectin from black cherry tomato waste modified by dynamic high-pressure microfluidization[J]. Journal of Food Engineering, 2018, 216: 90-97.
- [9] QIU S S, WANG J. Application of sensory evaluation, HS-SPME GC-MS, E-nose, and E-tongue for quality detection in citrus fruits[J]. Journal of Food Science, 2015, 80(10): S2296-S2304.
- [10] PERIS M, ESCUDER-GILABERT L. On-line monitoring of food fermentation processes using electronic noses and electronic tongues: a review[J]. Analytica Chimica Acta, 2013, 804: 29-36.
- [11] 刘丹丹, 李昕沂, 罗晶晶, 等. 超高压微射流均质技术对猕猴桃果酒品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(8): 165-169.
LIU Dandan, LI Xinyi, LUO Jingjing, et al. Effect of ultra-high pressure microjet homogenization on the quality of kiwifruit wine[J]. Food and Fermentation Industries, 2021, 47(8): 165-169.
- [12] 雷炎, 刘梦琦, 易秦振, 等. 扣囊复膜酵母在红枣酒中的应用[J]. 食品研究与开发, 2021, 42(5): 131-136.
LEI Yan, LIU Mengqi, YI Qinzheng, et al. Application of *Saccharomyces fibuligera* in jujube wine[J]. Food Research and Development, 2021, 42(5): 131-136.
- [13] 崔梦君, 邹金, 蔡文超, 等. 红枣酒氨基酸含量的测定及其方法优化[J]. 食品研究与开发, 2020, 41(15): 156-162.
CUI Mengjun, ZOU Jin, CAI Wenchao, et al. Determination of amino acid content of different varieties of red jujube wine and optimization of its method[J]. Food Research and Development, 2020, 41(15): 156-162.
- [14] 马佳佳, 姜宇文, 单春会, 等. 凤窝酒曲酵母菌多样性及其分离株发酵红枣酒氨基酸组成分析[J]. 中国酿造, 2020, 39(11): 48-51.
MA Jiajia, JIANG Yuwen, SHAN Chunhui, et al. Yeast diversity of Fengwo Jiuqu and amino acid composition of jujube wine fermented by their isolates[J]. China Brewing, 2020, 39(11): 48-51.
- [15] 黄丽萍, 靳学远, 谭演清, 等. 超高压微射流处理对火龙果汁微生物指标及理化特性的影响[J]. 食品安全质量检测学报, 2022, 13(20): 6563-6568.
HUANG Liping, JIN Xueyuan, TAN Yanqing, et al. Effects of ultra high-pressure microfluidization treatment on microbiological indicator and physicochemical properties of pitaya juice[J]. Journal of Food Safety & Quality, 2022, 13(20): 6563-6568.
- [16] 段艳军, 田春娇, 朱英, 等. 不同取汁方法对枣果可溶性固形物含量测定的影响[J]. 中国南方果树, 2022, 51(6): 218-220.
DUAN Yanjun, TIAN Chunjiao, ZHU Ying, et al. Effect of different juice extraction methods on the determination of soluble solids content of jujube fruit[J]. South China Fruits, 2022, 51(6): 218-220.
- [17] CAI W C, TANG F X, SHAN C H, et al. Pretreatment methods affecting the color, flavor, bioactive compounds, and antioxidant activity of jujube wine[J]. Food Science & Nutrition, 2020, 8(9): 4965-4975.
- [18] WANG Y R, HOU Q, GUO Z, et al. Bacterial community structure in acidic gruel from different regions and its influence on quality[J]. Food Research International, 2021, 141: 110130.
- [19] 于志海, 何书成, 董文轩, 等. 基于智能感官和 HS-SPME-GC-MS 技术分析火龙果发酵酒的风味[J]. 中国酿造, 2023, 42(9): 223-229.
YU Zhihai, HE Shucheng, DONG Wenxuan, et al. Analysis of fermented dragon fruit wine flavor based on intelligent sensory and HS-SPME-GC-MS[J]. China Brewing, 2023, 42(9): 223-229.
- [20] LIU W, ZHANG Z Q, LIU C M, et al. The effect of dynamic high-pressure microfluidization on the activity, stability and conformation of trypsin[J]. Food Chemistry, 2010, 123(3): 616-621.
- [21] LAN L, WANG J X, WANG S Y, et al. Correlation between microbial community succession and flavor substances during fermentation of Yongchuan Douchi[J]. Food Bioscience, 2023, 56: 103192.
- [22] 陈美丽, 许艳华, 纵伟, 等. 超高压微射流对石榴汁品质的影响[J]. 食品研究与开发, 2017, 38(3): 81-85.
CHEN Meili, XU Yanhua, ZONG Wei, et al. Effects of ultra-high pressure microfluidization treatment on quality of pomegranate juice[J]. Food Research and Development, 2017, 38(3): 81-85.
- [23] WANG X Y, WANG S S, WANG W J, et al. Comparison of the effects of dynamic high-pressure microfluidization and conventional homogenization on the quality of peach juice[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2019, 99(13): 5994-6000.
- [24] 刘德讲, 陈计峦, 裴龙英. 超高压和热处理对果蔬中四种香气合成酶活性与结构的影响[J]. 食品工业科技, 2020, 41(8): 82-89.
LIU Dejiang, CHEN Jiluan, PEI Longying. Effect of ultra-high pressure and heat treatment on activity and structure of four aroma synthesis enzymes in fruits and vegetables[J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(8): 82-89.
- [25] KOBAYASHI Y, HABARA M, IKEZAZKI H, et al. Advanced taste sensors based on artificial lipids with global selectivity to basic taste qualities and high correlation to sensory scores[J]. Sensors, 2010, 10(4): 3411-3443.