

不同终止发酵方法制备低醇菠萝酒

王琰¹, 曾新安¹, 蔡锦林²

(1. 华南理工大学食品科学与工程学院, 广东广州 510640) (2. 中新国际联合研究院, 广东广州 510000)

摘要: 本研究对比探讨了热处理、添加二氧化硫和脉冲电场灭菌等方法终止菠萝酒半发酵的工艺及产品质量情况。结果表明: 脉冲电场方波有效处理时间 80 μ s, 场强 15 kV/cm 或 75 $^{\circ}$ C 水浴恒温 20 min 或添加 150 mg/L 二氧化硫均可达到终止发酵目的; 不同终止发酵方式主要影响果酒的色泽、香气和感官分析, 对低醇酒的酒精度、总酸、干浸出物等基础理化指标没有显著性影响。脉冲电场灭菌处理的低醇菠萝酒, L*值、a*值升高, b*值降低, 色泽优于其他组; 低醇菠萝酒特征香气成分 2-甲基丁酸甲酯 (4.71 mg/L)、丁酸乙酯 (1.20 mg/L)、2-甲基丁酸乙酯 (0.58 mg/L)、4-羟基-2, 5-二甲基-3(2H)-呋喃酮 (0.46 mg/L)、3-羟基己酸甲酯 (0.36 mg/L) 含量均高于传统终止发酵法。结合感官评价综合分析, 脉冲电场终止发酵法制备的菠萝低醇酒优于传统的终止发酵方式。

关键词: 低醇菠萝酒; 终止发酵; 脉冲电场; 果酒品质

文章编号: 1673-9078(2021)03-70-76

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2021.3.0297

Preparation of Low-alcohol Pineapple Wine by Different Methods of Terminating Fermentation

WANG Yan¹, ZENG Xin-an¹, CAI Jin-lin²

(1. School of Food Sciences and Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

(2. Sino-Singapore International Joint Research Institute, Guangzhou 510000, China)

Abstract: In this study, the processes of semi-fermented pineapple wine involving different methods of terminating fermentation (heat treatment, sulfur dioxide addition and pulsed electric field sterilization) and the quality of derived products were compared. The results showed that the three methods could all terminate effectively the fermentation: using treatment time 80 μ s and field strength 15 kV/cm for the pulsed electric field treatment, using water bath at 75 $^{\circ}$ C over 20 min for heat treatment, or using sulfur dioxide at 150 mg/L for the sulfur dioxide addition method. Different methods of terminating fermentation affected mainly the color, aroma and other sensory attributes of fruit wines, but had insignificant effects on the basic physical and chemical indicators such as alcohol content, total acid, and dry extract of low-alcohol wine. The characteristic aroma components of low-alcohol pineapple wine were 2-methylbutyrate (4.71 mg/L), ethyl butyrate (1.20 mg/L), ethyl 2-methyl butyrate (0.58 mg/L), 4-hydroxy-2,5-dimethyl-3(2H)-furanone (0.46 mg/L) and 3-hydroxyhexanoate methyl ester (0.36 mg/L), which were all higher than those of the fruit wine prepared via the traditional method of terminating fermentation. Comprehensive analyses combined with sensory evaluation revealed that the low-alcohol pineapple wine prepared via terminating fermentation by pulse electric field was superior to that prepared by the traditional method of terminating fermentation.

Key words: Low-alcohol pineapple wine; termination of fermentation; pulsed electric field; fruit wine quality

引文格式:

王琰, 曾新安, 蔡锦林, 等. 不同的终止发酵的方法制备低醇菠萝酒[J]. 现代食品科技, 2021, 37(3): 70-76

WANG Yan, ZENG Xin-an, CAI Jin-lin, et al. Preparation of low-alcohol pineapple wine by different methods of terminating fermentation [J]. Modern Food Science and Technology, 2021, 37(3): 70-76

低醇酒是酿制果酒的一种, 由于其酒精度低, 营养价值高越来越受到消费者的欢迎。最早出现的低醇

收稿日期: 2020-03-31

基金项目: 国家自然科学基金项目 (21576099); 国家重点研发计划项目 (2017YFD0400502); 广州自然科学基金项目 (2017B020207001)

作者简介: 王琰 (1995-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 食品工程

通讯作者: 曾新安 (1972-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 食品发酵

酒是低醇葡萄酒^[1], GB 15037-2006 中规定低醇葡萄酒是采用鲜葡萄或葡萄汁经全部或部分发酵, 采用特种工艺加工而成的酒精度为 1%~7% 的葡萄酒。低醇菠萝酒也采用此定义法。菠萝, 味甘、微酸, 含有丰富的维生素, 有解暑止渴, 消食止泻等功效。成熟菠萝糖度一般在 110~160 g/L^[2], 是酿造低醇酒的合适原料。

目前低醇酒的酿造方法一般有脱醇法,特殊酵母发酵法,酶处理法,终止发酵法^[3],其中又以终止发酵法最为常用,一般包括热处理,降温,添加二氧化硫等。热处理一般采用巴氏杀菌法,在75~90℃杀灭酵母菌^[4]。脉冲电场灭菌技术处理时间短,杀菌效率高且热效应不明显,将其应用于果酒的低温灭菌处理能更好的保存果香和营养成分^[5]。酵母菌是单细胞真核微生物,对脉冲处理敏感,一般10 kV/cm就能致死,且脉冲宽度也对其影响显著^[6]。影响脉冲电场杀菌的因素主要有电场强度、有效处理时间、脉冲波形等,有效处理时间取决于介质接受的脉冲数与脉冲宽度^[7]。目前对酵母菌的致死研究主要是果汁^[8]和啤酒^[9]类,对低醇酒的终止发酵效果研究很少。

本试验选取热灭菌、二氧化硫法以及脉冲电场灭菌终止发酵方式制备菠萝低醇果酒,探讨不同终止发酵方式对发酵过程中的酵母致死率以及菠萝低醇酒酒精度、残糖、总酸、挥发酸、干浸出物、总二氧化硫、色泽、香气成分、感官分析的影响,选取一种对菠萝低醇酒品质影响最小的终止发酵方法,以期低醇酒的生产提供一定的理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

海南东阁镇新鲜金菠萝;ELEGANCE 马利酵母、Optivin RED 果胶酶、偏重亚硫酸钾、柠檬酸(食品级);乙醇为色谱级;酵母浸出粉胨葡萄糖琼脂培养基;甲基异丁基甲醇,色谱级。

1.2 仪器设备

高压脉冲电场灭菌设备:EX-1900,广州市心安食品科技有限公司;方波,二次处理灭菌;自动顶空进样器(7697A),美国安捷伦公司;气相色谱-质谱联用仪(7890B-5975C),美国安捷伦公司;全自动色差仪(CR-400),日本美能达公司。

1.3 实验方法

1.3.1 菠萝低醇酒制备要点

挑捡:选取成熟菠萝,去除坏果、烂果,破碎榨汁,加入60 mg/L 二氧化硫和100 mg/L 果胶酶,取上层汁4℃备用;

成分调整:调整菠萝汁糖度至130~135 g/L,酸度(以酒石酸计)6.20 g/L;取适量果汁加入活性干酵母90 mg/L于30~35℃水浴活化20 min后使用,在20℃控温发酵;

终止发酵:将发酵至(4.80±0.50)% vol 的菠萝低醇酒在0℃4000 r/min离心10 min,取上清液进行不同终止发酵处理;

澄清:加入300 mg/L 皂土在4℃静置5 d,取上清液膜过滤得到成品。

1.3.2 终止发酵条件的确定

1.3.2.1 脉冲电场终止发酵条件的确定

本实验中脉冲设备波形为方波,处理室体积0.02 mL,处理频率1000 Hz,菠萝低醇酒流速5 mL/s。参照预实验条件,探讨在场强条件10.00 kV/cm、12.50 kV/cm、15.00 kV/cm,有效处理时间40、80、120 μs条件下,脉冲电场终止发酵的有效条件,组别S_{PEF}。

1.3.2.2 热处理条件的确定

本试验参照预实验条件,在75℃水浴恒温热处理5、10、15、20 min,确定不同条件下酵母菌的残留量,从而确定热灭菌法终止发酵的有效条件,组别S_T。

1.3.2.3 二氧化硫处理条件的确定

本试验参照预实验条件,分别加入100、125、150 mg/L 二氧化硫,确定不同条件下酵母菌的残留量,从而确定二氧化硫法终止发酵的有效条件,组别S_{SO2}。

1.4 理化分析

根据GB 4789.2-2016方法测定样品在终止发酵处理前后酵母菌落总数;根据GB 15038-2006葡萄酒、果酒通用分析方法测定菠萝低醇酒中总糖、总酸、挥发酸、干浸出物、总二氧化硫含量、感官分析;采用全自动色差仪,测定果酒色泽,以L*、a*、b*表征。采用顶空气相色谱法(HS-GC)进行酒精度分析。

HS条件:加热箱温度:50℃;传输线温度:80℃;样品瓶平衡时间:15 min;恒定流量:50 mL/min,保持时间:0.25 min。

GC条件:进样口温度:230℃;检测器温度:250℃;升温程序:初始温度40℃,保持10 min,以10℃/min升温到210℃;分流比:10:1;空气流量:400 mL/min;尾吹气流量:25 mL/min;载气N₂流量:30 mL/min;色谱柱:HP-5 气相色谱柱(30 m×25 mm×25 μm)。

样品处理:准确称取0.30 g 氯化钠,吸取1 mL待测酒样加入顶空进样瓶,压盖备测。

1.5 HS-SPME-GC-MS 香气分析

GC条件:起始温度40℃,保持5 min,以4℃/min升到120℃,保持2 min,再以7℃/min升至220℃,保持5 min;进样口、检测器温度:250℃;载气为高

纯氮气, 流速 1.00 mL/min; 分流比 10:1。

MS 条件: EI 离子源; 流速: 1 mL/min; 质量范围 33~350 m/z 。

样品处理: 准确吸取 5 mL 酒样, 10 μ L 内标 (3.21 mg/L 甲基异丁基甲醇) 称取 1.25 g 氯化钠加入 20 mL 顶空进样瓶中, 加盖备测, 自动顶空进样。

1.6 数据处理

采用 Origin 2019 软件绘制图表, SPSS 24.0 进行相关性和显著性分析, 各项指标以均值 $\pm$ 标准差表示。

2 结果与分析

2.1 灭菌效率

2.1.1 脉冲电场终止发酵法

图 1d 中可以明显看出, 酵母菌致死率 $\lg S$ 与不同场强条件下的杀菌时间之间符合一级动力学, 有良好的线性相关性, 随着场强的增加, k 值越来越小, 杀菌越快, 这点也与 Fermi 模型中 k 值的表述一致^[7]。具体来看, 图 1 (a、b、c) 中一定范围内相同场强条件下, 处理时间越长, 酵母菌致死率越高, 在 10 kV/cm 条件下, 当有效处理时间从 40 μ s 增加至 120 μ s 时, 对酵母菌的致死率约增加了 3.5 log。随着电场强度的提高, 杀菌效果显著增强。由图 1 (a、c) 可以看出, 当场强从 10 kV/cm 增加至 15 kV/cm 时, 在相同有效处理时间 40 μ s 条件下, 酵母菌的致死率约增加了 2.3 log。在场强在 15 kV/cm、处理时间 80 μ s 条件下, 酒体温度 75 $^{\circ}$ C, 未检出酵母菌, 达到终止发酵的目的。对照热灭菌处理需 20 min 才能将酵母菌杀灭 (表 1), 而脉冲有效处理时间仅 80 μ s, 故脉冲电场灭菌过程中温度升高对灭菌效果的影响可忽略。

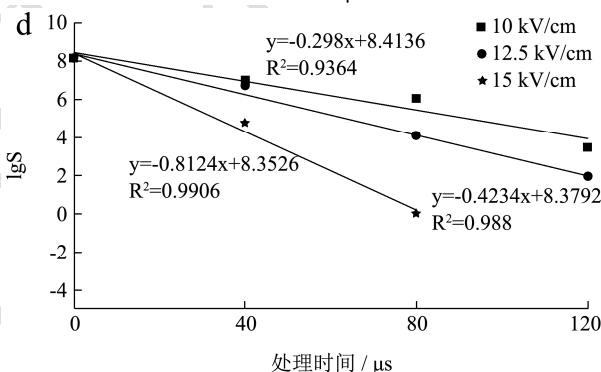
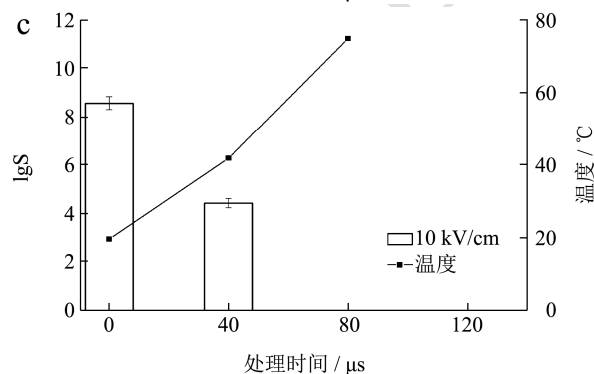
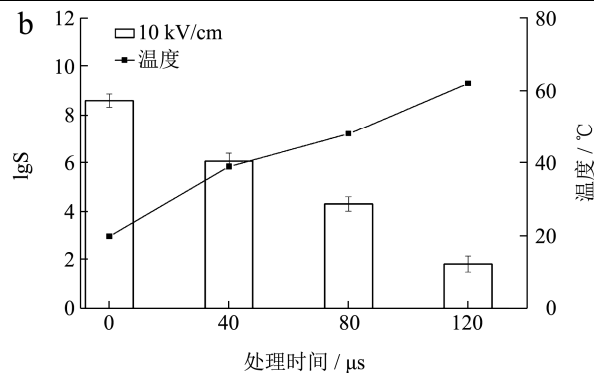
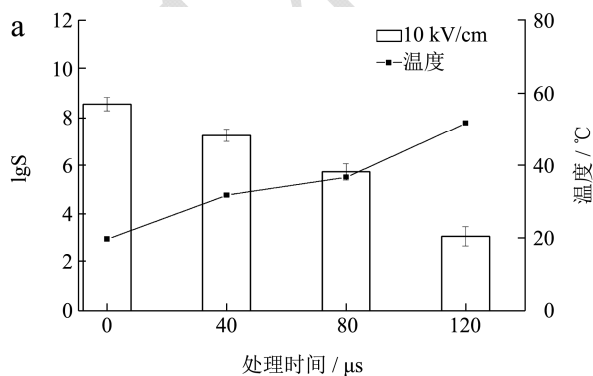


图 1 不同场强和处理时间对酵母菌的致死情况 (a, b, c) 和线性关系 (d)

Fig.1 Lethal conditions of yeasts with different field strengths and treatment times (a, b, c) and

Linear relationship (d)

2.1.2 热灭菌和二氧化硫终止发酵法

Guyot 等^[4]研究了酿酒酵母对热的应激反应。结果表明, 温度一定, 加热速度对酵母没有显著性影响, 致死率仅与加热时间相关。由表 1 可知, 随着灭菌时间延长, 酵母菌落总数急剧下降, 在 75 $^{\circ}$ C 处理 20 min 时, 未检出酵母菌, 达到终止发酵的目的。高浓度二氧化硫能抑制酵母菌活动^[3], 在浓度为 150 mg/L 时酒精发酵终止, 此时未检出酵母菌。

表 1 热灭菌法和二氧化硫法处理低醇酒中酵母菌落总数

Table 1 Total number of yeast colonies in low alcohol wine treated by thermal sterilization and sulfur dioxide

项目	未处理	S_T /(min)			S_{SO_2} /(mg/L)		
		10	15	20	100	125	150
酵母菌落总数/(cfu/mL)	1.30×10^8	1.80×10^3	1.60×10^2	<5	2.40×10^5	2.10×10^3	<5

2.2 不同终止发酵方式对低醇菠萝酒理化指标的影响

通过对脉冲电场灭菌、热处理、添加二氧化硫制备的低醇菠萝酒的常规理化指标和感官评价进行分析,由表2可知:三种终止发酵方式均能使果酒达到目标酒精度,达到终止发酵目的,且残糖、总酸、干浸出物、挥发酸没有显著性差异,这与 Darra^[10]研究结果一致。根据 GB 2760-2011 食品添加剂使用标准规定,果酒中二氧化硫最大使用量 0.25 g/L (最大量以二氧化硫残留量计),三种菠萝低醇酒含量均符合国家标准。即终止发酵方式对菠萝低醇酒理化指标影响不显著。

表2 低醇菠萝酒的理化指标

Table 2 Physical and chemical indicators of low alcohol pineapple wine

项目	S _{PEF}	S _T	S _{SO₂}
酒精度/(%vol)	4.78±0.03 ^c	4.85±0.01 ^b	4.84±0.04 ^a
残糖/(g/L)	46.35±0.02 ^a	45.13±0.01 ^c	45.31±0.03 ^c
总酸/(g/L)	6.01±0.01 ^b	5.99±0.02 ^b	6.13±0.01 ^a
干浸出物/(g/L)	25.81±0.26 ^a	25.07±0.10 ^a	24.87±0.02 ^a
挥发酸/(g/L)	0.27±0.01 ^a	0.28±0.02 ^a	0.23±0.02 ^b
总二氧化硫/(g/L)	0.081±0.002 ^b	0.082±0.005 ^b	0.227±0.003 ^a

注:同行不同字母表示显著性差异 ($p<0.05$),下同。

2.3 不同终止发酵方式对低醇菠萝酒色泽的影响

表3 低醇菠萝酒色泽变化

Table 3 Color of low alcohol pineapple wine

项目	S _{PEF}	S _T	S _{SO₂}
L*值	59.46±0.01 ^b	55.13±0.04 ^c	59.76±0.03 ^a
a*值	-1.70±0.03 ^a	-1.95±0.05 ^c	-1.83±0.01 ^b
b*值	7.66±0.06 ^c	9.40±0.02 ^a	8.82±0.02 ^b

不同终止发酵方式对果酒色泽的L*值、a*值、b*值差异显著 ($p<0.05$),其中L*值、b*值为正值,a*值为负值,说明果酒色泽亮度上升,绿色黄色增强^[11]。如表3所示,S_{SO₂}样L*值最高,L*值常被用来衡量食品的褐变程度,由于二氧化硫的漂白和抗氧化特性,导致果酒亮度明显提升,脉冲电场处理也具有类似效果,Oms等^[11]研究发现,甜瓜汁在场强35 kV/cm、处理时间为1050 μs时,甜瓜汁的抗氧化能力达到最高,但效果不如添加二氧化硫显著。相比之下,热处理大大增加了低醇菠萝酒的褐变,是因为酒样在终止发酵

过程中由于温度的升高还原糖、氨基酸等物质经过缩水、脱水、重排等一系列反应发生褐变^[12],导致亮度降低。因此,脉冲电场法和二氧化硫法终止发酵技术比热灭菌更适合于低醇菠萝酒。

2.4 不同终止发酵方式对低醇菠萝酒香气成分的影响

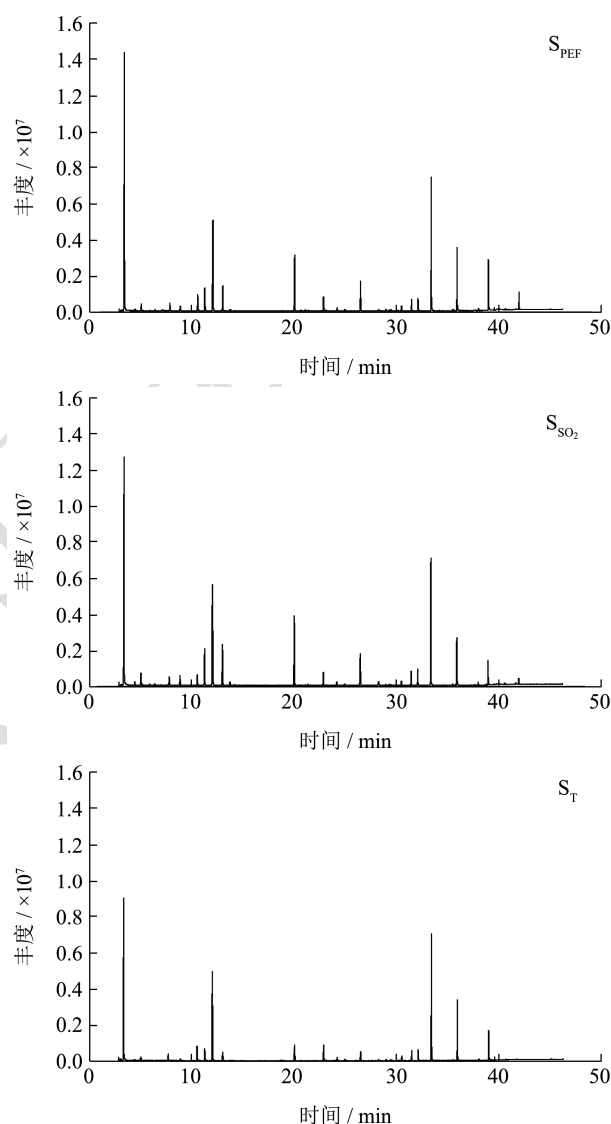


图2 低醇菠萝酒香气成分总离子流图

Fig.2 Total ion chromatograms of aroma components of low alcohol pineapple wine

总香气成分共检出48种,其中主要包括21种酯类香气物质(44.50%~53.70%),6种醇类香气物质(27.30%~40.70%),8种酸类香气物质(11.30%~25.70%)。不同终止方式对发酵酒中检测到的香气成分含量差异较大。S_{PEF}样中构成菠萝重要香成分的2-甲基丁酸甲酯、2-甲基丁酸乙酯、丁酸乙酯、3-羟基己酸甲酯、4-羟基-2,5-二甲基-3(2H)-呋喃酮含量均

有提升;特有乙酸橙花酯^[13]、芳樟醇^[14]、D-柠檬烯^[15]等物质使酒体具有甜玫瑰橙花花香、苹果果香、愉悦的柠檬香;壬酸、2-甲基乙酸等^[16]酸类品种的增加进一步协调果酒的口感,相较于 S_T 和 S_{SO_2} 酒样香气分析表现更好,香气成分总离子流图如图2所示。

酯类共检出23种,是含量最高的一大类。脉冲灭菌样、热灭菌样和二氧化硫灭菌样的酯类含量分别占总香气含量的41.50%、43.50%、53.70%,二氧化硫样的酯类占比量高于其他方式终止发酵处理后的样品,是由于低沸点酯类在高温或高压的处理下挥发所引起的^[17],未检测到的乙酸乙酯推断也是因为此。脉冲电场中2-甲基丁酸甲酯、2-甲基丁酸乙酯、丁酸乙酯、3-羟基己酸甲酯含量最高,是新鲜菠萝香味的主要来源,赋予酒体新鲜水果香气^[13]。

醛酮类化合物共检出6种,挥发性醛酮给菠萝酒带来果香、坚果香和奶香^[18],其中菠萝香气成分4-羟基-2,5-二甲基-3(2H)-呋喃酮(0.46 mg/L、0.35 mg/L、0.39 mg/L)赋予菠萝低醇酒甜的咖啡焦糖香^[19]。

醇类化合物共检测出9种,脉冲灭菌样、热灭菌样和二氧化硫灭菌样的醇类含量分别占总香气含量的27.70%、27.30%、28.50%。果酒中的杂醇油主要包括正丙醇、正丁醇、异丁醇、活性戊醇、异戊醇和苯乙醇^[20],本研究中发酵过程中产生的苯乙醇,异戊醇是含量最高的两种醇类,占总醇含量的90%以上,赋予酒体玫瑰香,且使得口感绵软协调。

酸类化合物共检出8种,脉冲灭菌样、热灭菌样和二氧化硫灭菌样的酸类含量分别占总香气含量的23.70%、21.90%、11.30%。脉冲终止样中酸类成分检出最多(8种,16.12 mg/L),包括壬酸、2-甲基己酸、3-(4-乙基苯甲酰)丙酸、4-(2-羟基-乙基氨基)呋喃-3-羧酸,可使酒样口感饱满、醇厚,增加酒体层次感^[19]。

其它化合物:除以上化合物外,果酒挥发性香气中还含有8种其它化合物,包括有特殊香气的苯乙烯,仅在脉冲样中检出的D-柠檬烯有新鲜橙子香气和柠檬香气^[14]。

表4 低醇菠萝酒主要挥发性香气成分

Table 4 Main volatile aroma components of low alcohol pineapple wine

香气成分	保留时间/(min)	S_{PEF} /(mg/L)	S_T /(mg/L)	S_{SO_2} /(mg/L)
丁酸甲酯	4.53	0.28	0.36	0.90
2-甲基丁酸甲酯	5.14	4.71	1.44	3.78
丁酸乙酯	5.99	1.20	nd	0.32
2-甲基丁酸乙酯	6.48	0.58	0.17	0.43
戊酸甲酯	7.63	nd	nd	0.15
乙酸异戊酯	8.96	0.31	1.22	3.76
己酸甲酯	11.36	2.65	4.48	11.04
己酸乙酯	13.10	4.78	4.70	11.98
辛酸乙酯	20.12	13.30	10.38	20.03
4-辛烯酸乙酯	21.45	0.06	0.13	0.27
3-甲硫基丙酸甲酯	22.94	3.32	2.70	3.93
2-甲基-3-羧基丁酸甲酯	23.17	0.14	0.12	0.18
3-甲硫基丙酸乙酯	24.25	0.83	0.62	1.03
奎酸乙酯	26.54	5.26	6.72	10.89
3-羟基己酸甲酯	28.27	0.36	0.21	nd
9-癸烯酸乙酯	28.34	nd	0.21	0.76
羟基丁二酸二乙酯	29.53	0.23	0.22	nd
乙酸橙花酯	30.18	0.17	nd	nd
5-羧基己酸甲酯	30.56	0.89	0.80	nd
乙酸-2-苯乙酯	31.52	1.84	1.97	3.54
己酸苯乙酯	37.68	0.07	nd	nd

转下页

接上页					
醇 (6 种)	3-甲基-2-丁醇	3.63	0.12	nd	nd
	2-甲基-2-丙醇	7.81	1.51	1.59	2.60
	3-甲基丁醇	12.11	22.84	20.86	36.16
	芳樟醇	23.74	0.07	nd	nd
	3-甲硫基丙醇	29.02	0.36	0.30	0.32
	苯乙醇	33.44	23.22	22.02	31.31
酸 (8 种)	壬酸	18.70	0.10	nd	nd
	乙酸	20.69	0.10	0.23	nd
	2-甲基己酸	27.65	0.12	nd	nd
	3- (4-乙基苯甲酰) 丙酸	31.34	0.08	nd	nd
	4- (2-羟基-乙基氨基) 呋喃-3 羧酸	31.42	0.06	nd	nd
	己酸	32.16	1.81	2.10	nd
	辛酸	35.97	9.29	9.05	10.10
	癸酸	39.03	4.56	7.06	5.44
醛酮 (6 种)	2-甲基-4-甲壬酮	18.87	0.14	0.14	nd
	糠醛	21.13	nd	0.29	0.36
	4-羟基-2,5-二甲基-3(2H)-呋喃酮	25.01	0.46	0.35	0.39
	4-羟基-2-甲基苯乙酮	31.33	nd	0.36	0.16
	2-羟基-5 甲基苯乙酮	38.07	0.18	nd	nd
	5-羟甲基糠醛	42.02	nd	2.99	1.48
烯烃 (5 种)	D-柠檬烯	11.54	0.10	nd	nd
	苯乙烯	13.83	nd	0.33	1.48
	1, 3, 5-十一烷三烯	19.12	0.09	nd	nd
	茨烯	29.37	0.19	nd	0.38
	十四酸乙烯	35.89	nd	nd	0.20
其他 (2 种)	丁香酚	37.67	nd	0.14	nd
	2,4-二叔丁基酚	39.61	0.46	0.33	0.26

注: nd 表示未检出该香气物质。

2.5 感官分析

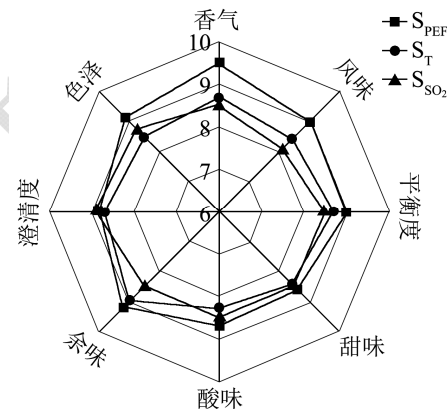


图 3 低醇菠萝酒感官分析雷达图

Fig.3 Sensory analysis radar chart of low alcohol pineapple wine

图 3 是 S_{PEF}、S_T、S_{SO2} 三组不同终止发酵方式酿

造菠萝低醇酒感官分析雷达图。从香气指标分析, S_{PEF} 组菠萝低醇酒评分 9.5 分, 有典型菠萝香气, 风味独特, 这是由于脉冲电场灭菌样提高了酯类、高级醇种类和含量, 丰富了菠萝低醇酒香气的复杂性和层次感; S_{SO2} 组酒体具有硫磺味, 臭鸡蛋味等不愉悦气味, 评分 8.5 分。从外观指标分析, S_{PEF} 组色泽评分最高, 9.2 分。从滋味指标分析, 三组酒样的甜味、酸味基本一致, 没有显著性差异。因此, 采用脉冲电场灭菌法制备的低醇菠萝酒具有更好的感官品质。

3 结论

终止发酵方式对低醇酒生产至关重要。本文对脉冲电场灭菌、热处理和添加二氧化硫等终止发酵条件进行探讨, 结果表明当场强在 15 kV/cm, 有效处理时间 80 μs 或 75 °C 恒温水热 20 min 或添加 150 mg/L 二氧化硫可达到终止发酵的目的。相较于两种传统终止

发酵法,脉冲电场灭菌制备的菠萝低醇酒在色泽上 L^* 值、 a^* 值升高, b^* 值降低, 表明酒体亮度上升, 绿色褪去, 有效保持果酒色泽; 在香气成分含量上, S_{PEF} 样中构成菠萝重要香成分的 2-甲基丁酸甲酯、2-甲基丁酸乙酯、丁酸乙酯、3-羟基己酸甲酯、4-羟基-2, 5-二甲基-3(2H)-呋喃酮含量均有提升。综上所述, 采用脉冲电场灭菌法能有效终止发酵, 改善果酒色泽, 增加菠萝酒香气复杂, 果酒具有良好的感官品质。

参考文献

- [1] Liguori L, Russo P, Albanese D, et al. Production of low-alcohol beverages: current status and perspectives [J]. Food Processing for Increased Quality and Consumption, 2018, 12: 347-382
- [2] Roda A, Lucini L, Torchio F, et al. Metabolite profiling and volatiles of pineapple wine and vinegar obtained from pineapple waste [J]. Food Chemistry, 2017, 229: 734-742
- [3] 杨辉, 党翠红. 5 度海红果酒终止发酵方法[J]. 食品与发酵工业, 2014, 40(7): 62-66
- YANG Hui, DANG Cui-hong. Study on the fermentation-stop method for 5% vol *Malus micromalus* Makino wine [J]. Food and Fermentation Industries, 2014, 40(7): 62-66
- [4] Guyot S, Ferret E, Gervais P, et al. Responses of *Saccharomyces cerevisiae* to thermal stress [J]. Biotechnology and Bioengineering, 2005, 92(4): 403-409
- [5] 李楠楠. 高压脉冲电场技术对鲜榨橙汁的杀菌效果及品质影响的研究[D]. 重庆: 西南大学, 2018
- LI Nan-nan. Study on effect of pulsed electric fields on sterilization and quality in ponkan juice [D]. Chongqing: Southwest University, 2018
- [6] 金雪剑, 李洪涛, 邓维军, 等. 13 μ s, 200 ns 和 2 ns 脉冲电场对酵母菌杀灭效果分析[J]. 强激光与粒子束, 2015, 27(12): 256-261
- JIN Xue-jian, LI Hong-tao, DENG Wei-jun, et al. Analysis of inactivation *Saccharomyces cerevisiae* by 13 μ s, 200 ns and 2 ns pulsed electric fields [J]. High Power Laser and Particle Beams, 2015, 27(12): 256-261
- [7] 曾新安. 脉冲电场食品非热加工技术[M]. 北京: 科学出版社, 2019: 60-64
- ZENG Xin-an. Pulsed Electric Field Non-thermal Processing Technology [M]. Beijing: Science Press, 2019: 60-64
- [8] Chen J, Tao X Y, Sun A D, et al. Influence of pulsed electric field and thermal treatments on the quality of blueberry juice [J]. International Journal of Food Properties, 2014, 17(7-10): 1419-1427
- [9] Liu M, Zhang M, Lin S, et al. Optimization of extraction parameters for protein from beer waste brewing yeast treated by pulsed electric fields (PEF) [J]. African Journal of Microbiology Research, 2012, 6(22): 4739-4746
- [10] Darra N E, Grimi N, Maroun R G, et al. Pulsed electric field, ultrasound, and thermal pretreatments for better phenolic extraction during red fermentation [J]. European Food Research and Technology, 2013, 236(1): 47-56
- [11] Oms O G, Odriozola S I, Soliva F R, et al. Effects of high-intensity pulsed electric field processing conditions on lycopene, vitamin C and antioxidant capacity of watermelon juice [J]. Food Chemistry, 2009, 115(4): 1312-1319
- [12] Delsart C, Grimi N, Boussetta N, et al. Comparison of the effect of pulsed electric field or high voltage electrical discharge for the control of sweet white must fermentation process with the conventional addition of sulfur dioxide [J]. Food Research International, 2015, 77: 718-724
- [13] 魏长宾, 李苗苗, 马智玲, 等. 金菠萝品种果实香气成分和特征香气研究[J]. 基因组学与应用生物学, 2019, 4: 1702-1711
- WEI Chang-bin, LI Miao-miao, MA Zhi-ling, et al. The Study of aroma components and characteristic aroma of gold pineapple fruit [J]. Genomics and Applied Biology, 2019, 4: 1702-1711
- [14] Dellacassa E, Trenchs O, Fariña L, et al. Pineapple (*Ananas comosus* L. Merr.) wine production in Angola: characterisation of volatile aroma compounds and yeast native flora [J]. International Journal of Food Microbiology, 2017, 241: 161-167
- [15] Pino J A, Queris O. Analysis of volatile compounds of pineapple wine using solid-phase microextraction techniques [J]. Food Chemistry, 2010, 122(4): 1241-1246
- [16] Qi N, Ma L, Liu X, et al. Analysis of aromatic compositions of pineapple wines fermented with different yeasts [J]. Journal of Food Engineering and Technology, 2017, 6(2): 95-100
- [17] Liu C H, Liu Y. Fruit quality and differentially expressed genes of winter-harvested pineapple in response to elevated temperature over a short postharvest period [J]. Postharvest Biology & Technology, 2017, 130: 21-27

(下转第 15 页)