

物理终止发酵工艺对低醇枣酒风味物质的影响

The influence of physical termination fermentation process on flavor substances of low-alcohol jujube wine

尹 蓉 张倩茹 王俊宇 梁志宏

YIN Rong ZHANG Qian-ru WANG Jun-yu LIANG Zhi-hong

(山西农业大学果树研究所, 山西 太原 030031)

(Pomology Institute, Shanxi Agricultural University, Taiyuan, Shanxi 030031, China)

摘要:目的:为低醇枣酒的产业化生产提供理论依据。方法:采用巴氏灭菌、高频超声和超微过滤 3 种方法对枣酒进行终止发酵。利用离子色谱法、顶空固相微萃取—气相色谱—质谱联用技术测定低醇枣酒中风味物质,并进行品评。结果:低醇枣酒中共有苹果酸、柠檬酸、琥珀酸、乳酸和乙酸 5 种主要有机酸,共检测到 50 种香气成分,其中酯类为主要香气物质,且辛酸乙酯和癸酸乙酯含量最高;不同终止发酵处理下低醇枣酒风味物质含量差异明显。超声高频处理的低醇枣酒各种风味物质的平衡度最好,香气成分种类丰富且均衡,超微过滤处理的低醇枣酒风味物质平衡度中等,香气成分种类丰富且不均衡,巴氏灭菌处理的低醇枣酒风味物质平衡度和香气成分种类均最低。结论:通过物理措施将枣汁发酵尽量控制在单糖、果聚糖发酵阶段,生产低醇高糖的枣酒,是解决枣酒有害物超标的优良途径。

关键词:低醇枣酒;终止发酵;风味物质;巴氏灭菌;高频超声;超微过滤

Abstract: Objective: To provide theoretical basis for the industrialization production of low-alcohol jujube wine. **Methods:** Three methods including Pasteurization, high-frequency ultrasound and ultra-filtration were used to terminate the fermentation. Flavor substances of low-alcohol jujube wine were determined by ion chromatography and headspace solid phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry techniques, and sensory evaluation was also conducted. **Results:** There are five main organic acids in low-alcohol jujube wine: malic acid, citric acid, succinic acid, lactic acid and acetic acid. A total of 50 aroma components were detected, of which esters were the main aroma substances, and the contents of ethyl

caprylate and ethyl caprate were the highest. The content of flavor substances in low-alcohol jujube wine was obviously different under different termination fermentation treatments. The low-alcohol jujube wine treated with high-frequency ultrasound had the best balance degree of flavor substance, and the aroma components were rich and balanced. The low-alcohol jujube wine treated with ultra-filtration had a moderate balance of flavor substance, and the aroma components were rich and unbalanced. The balance of flavor substances and the types of aroma components in the Pasteurized low-alcohol jujube wine were the lowest. **Conclusion:** Controlling the fermentation of jujube juice by physical measures at the fermentation stage of monosaccharide and fructan, and producing jujube wine with low alcohol and high sugar is an excellent way to solve the problem of excessive harmful substances in jujube wine.

Keywords: low-alcohol jujube wine; termination of fermentation; flavor substances; Pasteurization; high-frequency ultrasound; ultra-filtration

低醇枣酒不仅酒精度低,且甲醇、杂多醇等有害物质含量少^[1],还能更好地保留枣果中多糖、多酚、黄酮、花色苷、有机酸等营养与功能性成分^[2-3]。国外对低醇酒的研究与生产始于 20 世纪 70 年代,目前在市场中上升趋势非常明显;中国的低醇酒研发起步较晚,亟待进行产业化研发^[3-4]。在枣酒生产中,很难避免枣干红酒甲醇、杂多醇和生物胺超标的严重问题,枣酒生产企业面临着有产品但无法上市的困境。已有研究^[1,5]表明,枣酒发酵前期进行的单糖或果聚糖发酵,产生的甲醇等有害物含量很低,但后期的多聚糖、糖酸复合物发酵会产生大量甲醇、杂多醇和生物胺。如果将枣汁发酵尽量控制在单糖、果聚糖发酵阶段,生产低醇高糖的枣酒,将会有效控制这些有害物质的产生。

终止发酵法是制作低醇果酒常用也是成本较低的方法,但不同的终止发酵法对低醇果酒品质的影响存在差

基金项目:山西省重点研发计划项目(编号:201903D221054)

作者简介:尹蓉,女,山西农业大学果树研究所助理研究员,硕士。

通信作者:梁志宏(1969—),女,山西农业大学果树研究所研究员,硕士。E-mail:13835440157@163.com

收稿日期:2022-04-26 改回日期:2022-10-24

异。王琰等^[6]研究表明,脉冲电场方波在场强 15 kV/cm 下有效处理 80 μ s、75 $^{\circ}$ C 水浴恒温热处理 20 min、添加 150 mg/L 二氧化硫均可达到终止发酵的目的;不同终止发酵方式主要影响菠萝酒的色泽、香气和感官分析;结合感官分析,脉冲电场终止发酵法制备的菠萝低醇酒品质为最优。杨凯等^[7]比较了添加不同浓度的肉桂酸,以及肉桂酸协同 60 mg/L SO_2 共同终止酒精发酵相对于单纯使用 SO_2 对低醇葡萄酒品质的影响,发现添加肉桂酸的试验均优于未添加的试验,而且单纯添加 250 mg/L 肉桂酸进行终止发酵能获得品质最佳且稳定性最好的低醇葡萄酒。崔媛媛等^[8]研究证明在低醇沙棘蜂蜜酒生产中,相较于加硫处理,超高压技术可明显改善酒样的香气和色泽品质。

关于枣酒的终止发酵在枣汽酒饮品的研究中进行过初步研究^[1],但方法较单一,且添加了大量的 SO_2 ,对枣酒的风味有负面影响。研究拟以市售的优质大枣品种哈密大枣为原料,采用巴氏灭菌、高频超声和超微过滤处理 3 种物理方法进行酒精发酵终止试验,比较不同处理下低醇枣酒有机酸、糖类、甘油和香气物质的含量,以期低醇枣酒的产业化生产提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料与试剂

干哈密大枣:原产地为新疆哈密,市售;

拉曼德优质果酒酵母干粉:曼森酵母旗舰店;

酒石酸、琥珀酸、柠檬酸、乳酸、苹果酸、醋酸标准品:上海源叶生物有限公司;

C_{18} SPE 固相萃取小柱(十八烷基硅胶填充物 500 mg):北京吉瑞森科技有限责任公司;

乙腈、无水醋酸钠、氢氧化钠:优级纯,默克化学试剂有限公司;

甘油、氯化锂:分析纯,深圳市勋业化学试剂有限公司;

浓硫酸、果糖、葡萄糖:化学纯,深圳市勋业化学试剂有限公司。

1.2 仪器与设备

离子色谱仪:930 Compact IC Flex 智能集成型,瑞士万通有限公司;

固相萃取装置:SPE100 型,济南海能仪器股份有限公司;

气相色谱-质谱联用仪:Thermo Trace1300ISQ 型,赛默飞世尔科技(中国)有限公司;

巴氏灭菌锅:BS-2 型,山东省诸城市利德机械有限公司;

超声仪:AS5150 型,天津奥德赛恩斯仪器有限公司;

果酒过滤器:双级过滤器-1 型,配 5 μ m PP 棉滤芯和 0.22 μ m 聚丙烯滤芯,烟台帝伯仕自酿机有限公司;

菌落计数器:VS-J3 型,无锡沃信仪器制造有限公司。

1.3 发酵工艺流程

干红枣→清洗→切割(每颗枣切割 3 刀)→加热提汁(加入纯净水煮至即将沸腾,常温静置提汁 24 h)→过滤(300 目筛网)→调糖度(加热浓缩至糖度为 20 $^{\circ}$ Brix)→菌种活化及接种(以 0.4 g/L 的质量浓度称取活性干酵母,加入适量质量浓度为 20 g/L 的葡萄糖溶液,置于 37 $^{\circ}$ C 水浴锅中连续搅拌 15 min,而后加入枣汁中,并混合均匀)→发酵(20 $^{\circ}$ C 密闭发酵)→监测酒精度→终止发酵→取样测定

1.4 终止发酵方法

每日监测酒精度,大约发酵 5~6 d 时,酒精度接近于 7%,分别于巴氏灭菌锅、超声仪、精密膜果酒过滤器进行巴氏灭菌处理、高频超声处理、超微过滤处理终止发酵。

酵母菌最高致死温度为 55~56 $^{\circ}$ C,但较低温度的热处理需要较长时间才能终止发酵,而较高温度又会加速酒精挥发,因此巴氏灭菌以 70 $^{\circ}$ C 作为处理温度,经过一定时间的处理后,迅速降至 4 $^{\circ}$ C;超声仪具有 40 kHz 的低频挡和 59 kHz 的高频挡,低频挡无法有效破坏酵母细胞,故超声处理选择高频挡;酵母菌细胞宽度约 1~5 μ m,长度为 5~30 μ m,为有效过滤酵母,超微过滤处理中先利用 5 μ m PP 棉滤芯进行一次过滤、再利用 0.22 μ m 聚丙烯滤芯进行二次过滤。

1.5 测定方法

1.5.1 有机酸、甘油、果糖、葡萄糖含量测定 有机酸测定参照文献[9]的方法,甘油、果糖、葡萄糖测定参照文献[10]的方法,均运用离子色谱法进行测定,标准曲线见表 1 和表 2。

1.5.2 香气成分提取及测定 参照文献[11]。

表 1 有机酸标准曲线方程

Table 1 Standard curve equation of organic acid

有机酸	出峰时间/min	回归方程	R^2
柠檬酸	8.06	$y=0.428\ 3x+0.243$	0.997 9
苹果酸	9.26	$y=0.409\ 5x+0.233\ 4$	0.999 0
琥珀酸	10.67	$y=0.454\ 6x+0.184\ 7$	0.999 5
乳酸	11.58	$y=0.260\ 4x+0.031\ 3$	0.999 9
乙酸	13.56	$y=0.421\ 9x+0.027\ 5$	0.999 0

表 2 甘油、葡萄糖、果糖标准曲线方程

Table 2 Standard curve equation of glycerin, glucose, fructose

呈甜物质	出峰时间/min	回归方程	R^2
甘油	3.56	$y=8.582\ 5x-10.914$	0.996 9
葡萄糖	6.58	$y=3.209\ 2x+0.843\ 1$	0.999 5
果糖	7.42	$y=2.839\ 9x+0.597\ 4$	0.999 7

1.5.3 感官评价 将酒样放于通风良好的房间,由 10 位受到专业培训的品评小组成员分别对低醇枣酒酒样进行感官品评。感官品评项目包括果香、发酵香、色泽、酸味、甜味、苦味、余味、口感平衡度。按照 10 分制对每个项目的强烈程度打分,之后将各得分进行统计分析。

1.6 数据分析

采用 Excel 和 SPSS 24 进行数据处理和分析。

2 结果与分析

2.1 低醇枣酒物理终止发酵工艺的确定

巴氏灭菌处理可以有效杀死酵母菌,避免再发酵的可能。高频超声处理可以迅速产生高能微气泡和空穴效应,使酒体处于短暂性的高温高压状态,大大提高酵母细胞破碎的速率和程度^[12]。超微过滤处理可以过滤掉酵母和枣酒中的悬浮物质,增加酒体稳定性。不同物理终止发酵处理下酵母菌菌落数和酒精度见表 3。

由表 3 可知,70 ℃巴氏灭菌 20 min、高频超声处理 20 min 和超微过滤处理后,基本检测不出酵母菌,而且采取终止发酵工艺 7 d 后,酒精度未增长,说明这 3 种终止发酵工艺有效。

2.2 物理终止发酵工艺对低醇枣酒品质的影响

2.2.1 有机酸含量 酸味物质构成枣酒爽利、清新等口感特征。酸度过高使人感到刺口、生硬、酸苦;酸度过低则使人感到腻口、乏味、平淡。枣酒中能被识别出酸味的物质是一系列游离状态的有机酸,主要包括苹果酸、柠檬酸、酒石酸、琥珀酸、乳酸、奎宁酸和乙酸等。哈密大枣酿制的低醇枣酒中检测到苹果酸、柠檬酸、琥珀酸、乳酸和乙酸 5 种。不同终止发酵工艺下低醇枣酒有机酸含量见图 1。主要来源于枣果本身的苹果酸、柠檬酸^[12]是低醇

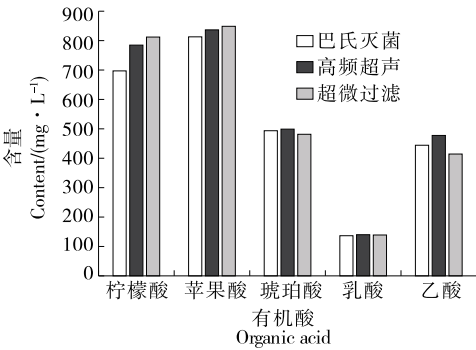


图 1 不同终止发酵工艺低醇枣酒有机酸含量
Figure 1 Organic acid content of low-alcohol jujube wine with different terminating treatment of fermentation

枣酒中含量最高的有机酸,琥珀酸、乙酸和乳酸均主要来源于发酵^{[13]8-9},但琥珀酸、乙酸居于中等,乳酸含量则为最低,且在 3 种处理中含量基本无差异,这是因为乳酸主要产生于发酵后期。

苹果酸是枣酒中最酸的酸,口感尖刻且呈味时间长;柠檬酸味感新鲜、凉爽和圆润;琥珀酸刚入口时酸味较淡,随后味感变浓,并能引起唾液分泌,可增强枣酒醇厚感;乙酸具醋味,刺鼻又刺喉^{[13]10}。巴氏灭菌处理的低醇枣酒柠檬酸、苹果酸含量均为最低,乙酸含量居于中等,意味着该处理的酸味味感低。超微过滤处理的低醇枣酒柠檬酸和苹果酸含量最高,琥珀酸和乙酸含量比另外两种处理低。高频超声处理的低醇枣酒乙酸含量为最高,其他指标则居于中等。而乙酸在果酒中具有预示着变质的倾向,说明高频超声处理可能会对低醇枣酒的贮藏产生负面影响。

2.2.2 甘油、果糖和葡萄糖含量 枣酒发酵终止后残糖的主要成分是葡萄糖和果糖^[14-15]。而主要呈甜物质除葡萄糖和果糖外,还包括甘油。甘油可以使低醇枣酒呈现肥硕、圆润的口感。三者是决定枣酒味感品质的重要指标。由图 2 可知,不同终止发酵工艺处理的低醇枣酒甘油、葡萄糖和果糖存在较为明显的差异。甘油含量最高的是巴氏灭菌处理的低醇枣酒,最低的是超微过滤处理的低醇枣酒。这可能是因为甘油具有黏性,在过滤中会损失一部分。再结合有机酸分析中,超微过滤的低醇枣酒琥珀酸含量最低,意味着该处理下缺乏醇厚丰润的口感。巴氏灭菌和超微过滤处理的低醇枣酒中葡萄糖、果糖都较高,而超声处理二者含量都为最低。具体原因有待进一步研究。

2.2.3 香气物质 3 种工艺处理的低醇枣酒香气成分的总离子流色谱图见图 3~图 5,香气成分组成及含量见表 4 和表 5。

低醇发酵的哈密大枣枣酒共检测到 50 种香气物质,其中酯类物质达 34 种,可见酯类物质是主要的香气构成

表 3 不同物理终止发酵处理枣酒的酵母菌菌落数和酒精度

Table 3 Yeast colony count and alcohol content of jujube wine under different physical termination fermentation

处理	酵母菌菌落数/ (CFU · mL ⁻¹)	酒精度/%	
		终止发 酵时	终止发酵 7 d 后
70 ℃巴氏灭菌 10 min	3.96×10 ⁴	6.7	9.6
70 ℃巴氏灭菌 15 min	1.00×10 ²	6.6	8.2
70 ℃巴氏灭菌 20 min	<5	6.6	6.6
高频超声处理 10 min	2.03×10 ⁵	6.7	9.2
高频超声处理 15 min	1.66×10 ²	6.7	8.3
高频超声处理 20 min	<5	6.6	6.6
超微过滤处理	<5	6.7	6.7
未处理	1.86×10 ⁹	6.7	11.8

成分,与前人^[11-12]的研究结果一致。3 种不同终止发酵方式处理的枣酒中,辛酸乙酯和癸酸乙酯都是含量最高的香气成分,说明这两种酯类是低醇枣酒的代表性香气成分。

巴氏灭菌处理的低醇枣酒检测到香气物质种类最少,共有 27 种。特有香气成分包括异戊酸己酯、DL-2-氨基丙酸、大马士酮和2-乙基己醇4种,在3种处理中种类

为最少。另含有高水平的异戊醇,异戊醇是一种杂醇,且呈现不愉快的味道^[16-17]。烷类物质含量也明显较高。可见巴氏灭菌对枣酒风味物质有负面影响。

超声高频处理的低醇枣酒检测到 32 种香气物质。特有香气成分共 8 种,其中乙酸异丁酯、甲酸异戊酯、3-甲基丁酸乙酯、辛酸甲酯呈现各种水果香,苯乙醛呈风信子香,2-壬酮呈花、果、油脂和药草香^[16-17]。另外,乙酸异戊

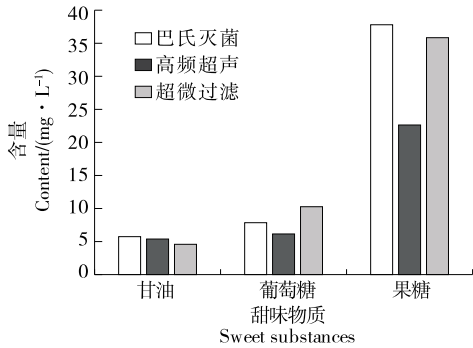


图2 不同终止发酵工艺低醇枣酒甘油、葡萄糖和果糖含量

Figure 2 Glycerinum, glucose and fructose content of low-alcohol jujube wine under different termination fermentation process

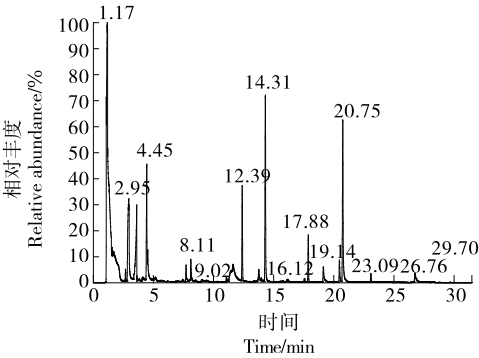


图3 巴氏灭菌终止发酵枣酒香气成分 GC-MS 总离子流图

Figure 3 GC-MS total ion flow diagram of aroma components with Pasteurization treatment for fermentation terminating

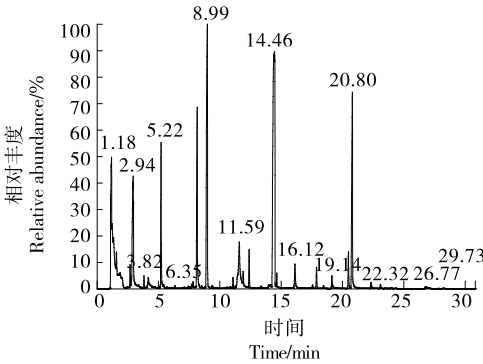


图4 高频超声终止发酵枣酒香气成分 GC-MS 总离子流图

Figure 4 GC-MS total ion flow diagram of aroma components with high-frequency ultrasound treatment for fermentation terminating

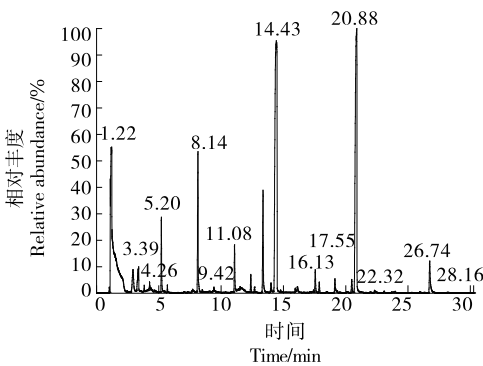


图5 超微过滤终止发酵枣酒香气成分 GC-MS 总离子流图

Figure 5 GC-MS total ion flow diagram of aroma components with ultra-filtration treatment for fermentation terminating

表 4 不同终止发酵低醇枣酒香气物质组成及含量

Table 4 Aroma substance composition and content of low-alcohol jujube wine with different terminating treatment of fermentation

化合物	保留时间/min	气味特征	含量/(mg · L ⁻¹)		
			巴氏灭菌	高频超声	超微过滤
丙酸乙酯	2.46	菠萝香	0.09	0.08	0.09
乙酸异丁酯	3.39	成熟水果香		0.08	
甲酸异戊酯	3.65	李子果香		0.04	
丁酸乙酯	3.82	菠萝香		0.24	0.17
2-甲基丁酸乙酯	4.67	玫瑰香			0.08

续表 4

化合物	保留时间/min	气味特征	含量/(mg·L ⁻¹)		
			巴氏灭菌	高频超声	超微过滤
3-甲基丁酸乙酯	4.75	苹果、香蕉味		0.12	
乙酸异戊酯	5.19	香蕉味	0.16	5.02	2.11
戊酸乙酯	5.68	苹果香	0.04	0.03	0.18
丙酸异戊酯	7.33	杏、菠萝香			0.03
己酸乙酯	8.11	曲香、菠萝香	1.28	0.12	5.56
乙酸己基酯	8.50	苹果、梨、香蕉皮味	0.11	0.10	0.09
己-2-烯酸乙酯	9.42				0.28
庚酸乙酯	11.08	菠萝香	0.31	0.36	1.90
辛酸甲酯	11.91	酒、甜橙香		0.44	
反式-2-庚酸乙酯	12.68				0.22
苯甲酸乙酯	13.35	稍有苹果味		0.08	4.58
丁二酸二乙酯	13.76	葡萄香	0.95	0.08	
7-辛烯酸乙酯	13.99		0.19		0.51
辛酸乙酯	14.31	白兰地酒香	12.87	29.82	33.82
2-甲基辛酸乙酯	15.22				0.01
异戊酸己酯	15.56	白兰地酒香	0.05		
8-壬酸乙酯	17.28				0.02
辛酸丙酯	17.43			0.06	0.27
壬酸乙酯	17.56	果香、玫瑰香	0.25	0.13	0.96
苯丙酸乙酯	19.13	玫瑰香	1.09	0.50	0.63
反式-4-癸烯酸乙酯	20.48				0.65
癸酸乙酯	20.75	果香、白兰地香	11.49	10.39	27.27
苯甲酸异戊酯	21.96	果香和龙涎香			0.02
辛酸异戊酯	22.32	葡萄香	0.04	0.23	0.12
癸酸丙酯	23.69				0.04
十一酸乙酯	23.82	椰子香			0.02
癸酸异丁酯	25.30				0.02
十二酸乙酯	26.76	果香、花香	0.77	0.11	1.64
癸酸异戊酯	28.19			0.02	0.03
DL-2-氨基丙酸	3.75	甜味	0.02		
辛酸	14.14	汗臭味		0.12	
异戊醇	2.94	不愉快的气味	10.73	0.01	
苯乙醇	11.63	玫瑰花香	1.04	2.06	0.18
2-乙基己醇	9.01	特殊气味	0.15		
苯乙醛	9.38	风信子香		0.13	
2,4,5-三甲基-1,3-二氧戊环酮	2.68		0.60	0.66	
2-壬酮	10.85	水果、花、油脂和药草味		0.13	
大马士酮	20.06	玫瑰香	0.06		
六甲基环三硅氧烷	4.07		0.14		0.03
1,3-二乙氧基-1,1,3,3-四甲基二硅氧烷	6.85		0.03	0.01	0.01
八甲基环四硅氧烷	7.71		0.86		0.14
十甲基环五硅氧烷	12.39		6.38	1.43	0.73
十二甲基环六硅氧烷	17.88		3.16	0.84	0.44
十四甲基环七硅氧烷	23.09		0.58	0.17	
十六甲基环八硅氧烷	27.83			0.01	

酯(香蕉味)和苯乙醇(玫瑰花香)含量高,而烷类物质含量低。因此,该处理下的低醇枣酒具有丰富的香味成分。

超微过滤处理的低醇枣酒检测到 34 种香气物质。特有香气成分共有 9 种,其中 2-甲基丁酸乙酯呈玫瑰香,丙酸异戊酯呈杏和菠萝香,十一酸乙酯呈椰子香^[16-18]。另外,己酸乙酯(曲香、菠萝香)、苯甲酸乙酯(苹果味)、乙酸异戊酯(香蕉味)和十二酸乙酯(果香、花香)含量高。虽然特有香味成分种类多,但未检测到酸、酮、醛类风味物质,醇类物质含量也最低,可能会影响枣酒风味的协调性和肥厚感。

2.2.4 感官品质 由图 6 可知,3 种工艺处理的低醇枣酒都具有浓郁的枣果香味,但发酵香存在显著差异,巴氏灭菌处理的低醇枣酒分值最低,而超声高频处理的低醇枣酒分值最高,可能因为超声高频处理丰富了枣酒发酵产生的酯类物质和醇类物质。从色泽上分析,超微过滤显示出更高的澄清度,巴氏处理澄清度最低。巴氏处理枣酒甜味最明显,余味、酸味、苦味分值最低,因而口感平衡度最差,甜味成为主要味道,并且有让人不愉悦的蒸煮味;超声高频和超微处理的低醇枣酒显示出同样水平的甜味,前者酸味、苦味和余味都稍微高于后者,在口感平衡度上显示出较高的优越性。综合几项指标,超声高频处理的枣酒除色泽得分居于中等外,口感平衡度和香味均为最佳。

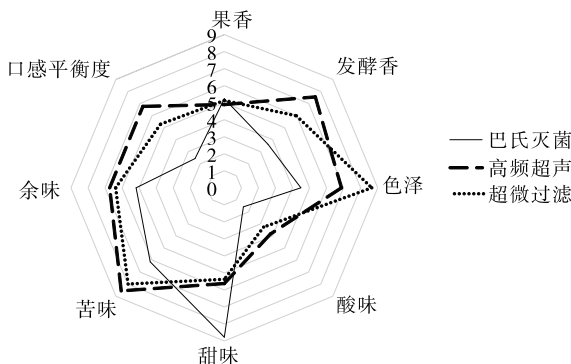


图 6 不同工艺终止发酵的低醇枣酒感官分析雷达图

Figure 6 Radar map of sensory analysis of low-alcohol jujube wine with different terminating treatment of fermentation

3 结论

不同终止发酵工艺制作的低醇枣酒风味品质存在差异。巴氏灭菌终止发酵法得到的低醇枣酒有机酸含量偏低,甜味物质含量偏高,香气物质种类最少,因而甜味呈现主要味道,口感平衡度最差;超声高频处理制得的低醇枣酒酸味和甜味物质均衡,香气成分种类多,口感平衡度最佳;超微过滤处理制得的低醇枣酒酸味和甜味物质较均衡,香气物质种类最多但缺乏酸、酮、醛类和醇类物质。综合评比后得到,超声高频处理制得的低醇枣酒虽然可能不利于贮藏(乙酸含量高),但各种风味物质的平衡度

最好,香味成分种类丰富,且经济实用(超微过滤则需要消耗一次性膜,且膜较昂贵),在 3 种终止发酵方式中最值得推荐。后续将研究不同终止发酵措施对酒体稳定性和货架期的影响。

参考文献

- [1] 尹蓉, 张倩茹, 殷龙龙, 等. 红枣汽酒饮品的研究与开发[J]. 食品科技, 2020, 45(4): 80-84.
YIN R, ZHANG Q R, YIN L L, et al. Research and development of jujube wine spritzer[J]. Food Science and Technology, 2020, 45(4): 80-84.
- [2] 张丽华, 李珍珠, 王维静, 等. 不同杀菌方式对低醇枣酒品质的影响[J]. 中国酿造, 2018(12): 106-111.
ZHANG L H, LI Z Z, WANG W J, et al. Effect of different sterilization methods on the quality of low-alcohol jujube wine[J]. China Brewing, 2018(12): 106-111.
- [3] 郑永丽. 低醇葡萄酒的脱醇工艺及产品研发[D]. 银川: 宁夏大学, 2021: 1-8.
ZHENG Y L. Low-alcohol wine dealcoholization technology and product development[D]. Yinchuan: Ningxia University, 2021: 1-8.
- [4] 郑永丽, 张军翔. 低(无)醇葡萄酒研发进展[J]. 中国酿造, 2021, 40(7): 12-16.
ZHENG Y L, ZHANG J X. Research and development of low (no) alcohol wine[J]. China Brewing, 2021, 40(7): 12-16.
- [5] 张倩茹, 尹蓉, 殷龙龙, 等. 果酒发酵过程影响甲醇含量的因素模拟分析[J]. 食品科技, 2022, 47(1): 106-112.
ZHANG Q R, YIN R, YIN L L, et al. Simulation analysis of factors influencing methanol content in fruit wine fermentation process[J]. Food Science and Technology, 2022, 47(1): 106-112.
- [6] 王琰, 曾新安, 蔡锦林. 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, 15.
WANG Y, ZENG X A, CAI J L. Preparation of low-alcohol pineapple wine by different methods of terminating fermentation[J]. Modern Food Science and Technology, 2021, 37(3): 70-76, 15.
- [7] 杨凯, 张攀, 梁丽雅, 等. 肉桂酸终止低醇葡萄酒酒精发酵的工艺优化[J]. 保鲜与加工, 2020, 20(5): 153-158.
YANG K, ZHANG P, LIANG L Y, et al. Optimization of terminating alcohol fermentation technique of low-alcohol muscat hamburg wine by cinnamic acid [J]. Storage and Process, 2020, 20(5): 153-158.
- [8] 崔媛媛, 张祯, 李熠, 等. 超高压处理对低醇沙棘蜂蜜酒品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(24): 173-180.
CUI Y Y, ZHANG Z, LI Y, et al. Effect of high hydrostatic pressure treatment on the quality of low alcohol sea-buckthorn mead[J]. Food and Fermentation Industries, 2021, 47(24): 173-180.
- [9] 张倩茹, 尹蓉, 王贤萍, 等. 乳酸菌发酵树莓饮料的工艺优化[J]. 食品科技, 2021, 46(5): 99-103.
ZHANG Q R, YIN R, WANG X P, et al. Research on optimization of fermented raspberry beverage by lactic acid bacteria[J]. Food Science and Technology, 2021, 46(5): 99-103.

(下转第 27 页)

- sugar in super sweet corn using near-infrared spectroscopy combined with chemometrics[J]. *Optik*, 2020, 220: 165128.
- [6] MANZOOR S, GULL A, WANI S M, et al. Improving the shelf life of fresh cut kiwi using nanoemulsion coatings with antioxidant and antimicrobial agents[J]. *Food Bioscience*, 2021, 41: 101015.
- [7] 郭琳琳, 庞荣丽, 罗静, 等. 猕猴桃果实采后常温贮藏期品质评价[J]. *中国果树*, 2021(10): 18-24.
- GUO L L, PANG R L, LUO J, et al. Quality evaluation of kiwifruit during postharvest storage[J]. *China Fruit Tree*, 2021(10): 18-24.
- [8] 易淑瑶, 刘青, 贾东峰, 等. 不同结果母枝粗度对“东红”猕猴桃果实品质的影响[J]. *中国南方果树*, 2020, 49(4): 122-126.
- YI S Y, LIU Q, JIA D F, et al. Effects of different fruiting mother branch roughness on fruit quality of "Donghong" kiwifruit[J]. *China Southern Fruit Trees*, 2020, 49(4): 122-126.
- [9] 黄文俊, 江昌应, 陈美艳, 等. 三个产地猕猴桃品种“金梅”在低温贮藏及货架期内的采后生理和品质变化[J]. *植物科学学报*, 2020, 38(5): 687-695.
- HUANG W J, JIANG C Y, CHEN M Y, et al. Changes in postharvest physiology and fruit quality of *Actinidia chinensis* Planch. 'Jinmei' from three different production regions during cool storage and shelf life [J]. *Plant Science Journal*, 2020, 38(5): 687-695.
- [10] 宋海岩, 涂美艳, 刘春阳, 等. 夏季修剪对“翠玉”猕猴桃植株生长及果实品质的影响[J]. *西南农业学报*, 2020, 33(7): 1 561-1 565.
- SONG H Y, TU M Y, LIU C Y, et al. Effect of summer pruning on growth and fruit quality of 'Cuiyu' kiwifruit[J]. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2020, 33(7): 1 561-1 565.
- [11] 袁华玲, 周亚兰, 陈延松, 等. 不同品种黄肉猕猴桃品质分析[J]. *合肥师范学院学报*, 2016, 34(6): 50-52.
- YUAN H L, ZHOU Y L, CHEN Y S, et al. The analysis and evaluation on yellow-fleshed kiwifruit quality of different variety[J]. *Journal of Hefei Normal University*, 2016, 34(6): 50-52.
- [12] 刘晓娟, 马克平. 植物功能性状研究进展[J]. *中国科学: 生命科学*, 2015, 45(4): 325-339.
- LIU X J, MA K P. Plant functional traits-concepts, applications and future directions[J]. *Science in China: Life Sciences*, 2015, 45(4): 325-339.
- [13] 陈双双, 贺艳群, 徐小彪, 等. 江西省不同产地“金艳”猕猴桃果实品质比较分析[J]. *中国南方果树*, 2022, 51(2): 113-116.
- CHEN S S, HE Y Q, XU X B, et al. Comparative analysis of fruit quality of "Jinyan" kiwifruit from different origins in Jiangxi Province[J]. *China Southern Fruit Trees*, 2022, 51(2): 113-116.
- [14] 张晓晴, 吕真真, 刘慧, 等. 不同品种桃果酒品质特性与酿酒适宜性评价[J]. *果树学报*, 2021, 38(8): 1 368-1 380.
- ZHANG X Q, LU Z Z, LIU H, et al. Characteristics of peach wines made from different cultivars and evaluation on their suitability for wine brewing[J]. *Journal of Fruit Science*, 2021, 38(8): 1 368-1 380.
- [15] WANG H, WANG J, MUJUMDAR A S, et al. Effects of postharvest ripening on physicochemical properties, microstructure, cell wall polysaccharides contents (pectin, hemicellulose, cellulose) and nanostructure of kiwifruit (*Actinidia deliciosa*) [J]. *Food Hydrocolloids*, 2021, 118: 106808.
- (上接第 20 页)
- [10] 张倩茹, 贾杰, 尹蓉, 等. 离子色谱法测定枣酒中甘油含量[J]. *安徽农业科学*, 2019, 47(18): 201-203.
- ZHANG Q R, JIA J, YIN R, et al. Determination of glycerol in jujube wine by ion chromatography[J]. *J Anhui Agric Sci*, 2019, 47(18): 201-203.
- [11] 李群, 李新明, 张倩茹, 等. 枣酒酿造工艺的优化及其香味成分分析[J]. *北方园艺*, 2017, 17(12): 136-141.
- LI Q, LI X M, ZHANG Q R, et al. Optimization of fermentation process for jujube wine and analysis of flavor components[J]. *Northern Horticulture*, 2017, 17(12): 136-141.
- [12] ALPER K, ÖZCAN B. Determination of phenolics, organic acids, minerals and volatile compounds of jujube (*Ziziphus jujuba* miller) jam produced by under vacuum evaporation compared with open pan method [J]. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 2021(15): 1 127-1 138.
- [13] 王博. 不同酵母对蓝莓酒中有机酸的影响[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2018.
- WANG B. Effects of different yeasts on organic acids in blueberry wine[D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2018: 8-10.
- [14] 崔艳, 梁丽雅, 尹吉泰, 等. 低温结合超声波工艺酿造低醇甜白葡萄酒的研究[J]. *保鲜与加工*, 2018, 18(6): 89-94, 99.
- CUI Y, LIANG L Y, YIN J T, et al. Low alcohol sweet white wine brewing by low temperature treatment combined with ultrasonic technology[J]. *Storage and Process*, 2018, 18(6): 89-94, 99.
- [15] 吴孔阳, 杜如月, 刘红霞, 等. 红枣功能特性及其发酵酒研究进展[J]. *中国酿造*, 2018(9): 12-16.
- WU K Y, DU R Y, LIU H X, et al. Research progress on functional characteristics of jujube and its fermented wine[J]. *China Brewing*, 2018(9): 12-16.
- [16] 严超, 侯丽娟, 赵欢, 等. 3 种不同原料发酵枣酒香气主成分的分析[J]. *酿酒科技*, 2017(3): 49-54.
- YAN C, HOU L J, ZHAO H, et al. Principal component analysis of volatile flavoring components in jujube wine produced by three different raw materials[J]. *Liquor-Making Science & Technology*, 2017(3): 49-54.
- [17] 胡来丽, 秦礼康, 王玉珠. 百香果全果与果汁发酵酒滋味成分及香气成分对比[J]. *食品与机械*, 2021, 37(12): 10-19.
- HU L L, QIN L K, WANG Y Z. Comparison of taste and aroma components between whole passion fruit and fruit juice fermented wine[J]. *Food & Machinery*, 2021, 37(12): 10-19.
- [18] 尹雪林, 龚丽娟, 钟武, 等. 戴尔有孢圆酵母与酿酒酵母混合发酵对猕猴桃酒香气的影响[J]. *食品科技*, 2021, 42(22): 216-223.
- YIN X L, GONG L J, ZHONG W, et al. Effect of mixed fermentation with *Saccharomyces cerevisiae* and *Torulaspora delbrueckii* on the aroma of kiwifruit wine[J]. *Food Science and Technology*, 2021, 42(22): 216-223.