

李洁,郑涵予,王沂雯,等.酵母菌株对余甘子酒香气成分及感官品质的影响[J].江西农业大学学报,2020,42(5):1058-1066.



酵母菌株对余甘子酒香气成分 及感官品质的影响

李 洁,郑涵予,王沂雯,钟 焱,刘兴艳,陈安均*

(四川农业大学 食品学院,四川 雅安 62500)

摘要:【目的】以余甘子为原料,对比了5株酵母菌株(Aroma white、D254、EC1118、Perlage和Top15)对余甘子酒品质的影响。【方法】分析了5种酵母菌株分别发酵的余甘子酒的基础理化指标。【结果】结果表明酵母菌株对其基础理化指标影响较小。通过气相色谱-质谱联用仪分析5种余甘子酒的挥发性香气成分,共鉴定了47种挥发性香气成分,主要为醇类与酯类物质,其中EC1118发酵的余甘子酒挥发性香气成分总含量最高。对5种余甘子酒的挥发性香气成分进行主成分分析,降维得到的前3个主成分的累计贡献率为87.05%,通过前3个主成分得分可知,5种余甘子酒存在一定差异且可通过得分将其归为4类。经感官评价,EC1118发酵的余甘子酒感官得分最高。将感官得分与挥发性香气成分结合进行模糊综合评判,得出最优酵母菌株为EC1118,其结果与挥发性物质的分析和感官评价结果一致。【结论】综合考虑,认为EC1118更适合作为挥发性物质丰富、感官良好的余甘子酒的发酵菌株。

关键词:酵母菌株;余甘子酒;挥发性物质;主成分分析;感官评价;模糊综合评判

中图分类号:TS262.7 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-2286(2020)05-1058-09

Effects of Yeast Strains on Aroma Components and Sensory Quality of *Phyllanthus* Wine

LI Jie, ZHENG Han-yu, WANG Yi-wen, ZHONG Yan,
LIU Xing-yan, CHEN An-jun*

(Food School of Sichuan Agricultural University, Ya'an, Sichuan 625000, China)

Abstract: [Objective] *Phyllanthus* was used as a raw material, the effects of 5 different yeast strains (Aroma white, D254, EC1118, Perlage and Top15) on the quality of *Phyllanthus* wine were compared. [Method] The basic physical and chemical indexes of *Phyllanthus* wine fermented by five yeast strains were analyzed. The results showed that the yeast strains had little effect on the basic physical and chemical indexes. [Result] The volatile aroma components of 5 kinds of *Phyllanthus* wine were analyzed by gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS), and 47 volatile aroma components were identified, which mainly included alcohol and ester, among the 5 kinds of wine, the wine fermented by EC1118 contained the highest content of volatile aroma components. The principal component analysis of the volatile aroma components of the 5 kinds of *Phyllanthus* wine, the cu-

收稿日期:2019-12-13 修回日期:2020-02-20

基金项目:国家重点基础研究发展计划项目(2017YFC0505106)

Project supported by the National Key Basic Research and Development Plan(2017YFC0505106)

作者简介:李洁,rcid.org/0000-0002-4547-9372,1161964605@qq.com; *通信作者:陈安均,教授,博士,主要从事果蔬加工研究,orcid.org/0000-0002-7716-5618,anjunc003@163.com。

mulative contribution rate of the first three main components obtained by dimension reduction was 87.05%, according to the scores of the first three main components, there were certain differences among the 5 kinds of *Phyllanthus* wine and it could be classified into 4 categories by scoring. Sensory evaluation showed that the *Phyllanthus* wine fermented by EC1118 had the highest sensory score. Fuzzy comprehensive evaluation based on the sensory score combined with volatile substances concluded that the optimal yeast strain was EC1118, and the result was in accord with the result of volatile substance analytic and sensory evaluation. [Conclusion] Considering comprehensively, EC1118 was considered to be more suitable as a fermentation strain for *Phyllanthus* wine rich in volatile substances and good in sensory quality.

Keywords: yeast; *Phyllanthus* wine; volatile substances; principal component analysis; sensory evaluation; fuzzy comprehensive evaluation

【研究意义】余甘子(*Phyllanthus emblica* L.)是一种大戟科中小型落叶乔木的果实,主要生长在中国、印度等亚热带和热带地区^[1]。余甘子含丰富的营养,可作为矿物质、氨基酸和抗坏血酸的重要膳食来源^[2]。余甘子还含有黄酮、多酚、生物碱、有机酸和甾醇等具有抗氧化能力和清除自由基能力的生物活性物质,有降血压、降血脂、抗肿瘤、防止动脉粥样硬化、消炎镇痛、增强免疫等功能^[3]。中国余甘子产量大,大多长在山区,开发利用率很低,造成资源浪费和山区经济的落后,若将余甘子开发成果酒将有利于资源的合理利用和促进山区经济的发展^[4]。【前人研究进展】果酒的香气主要是通过果实发育和果酒发酵过程产生的一系列如醇类、酯类、醛类等香气成分^[5],作为果酒品质的重要指标之一,其香气直接影响果酒的风味品质。杨婷^[6]等研究表明4株不同的酿酒酵母发酵产生的甜瓜酒的香气含量及香气特征之间存在差异性;李凯^[7]等研究发现不同商业酿酒酵母酿制的玫瑰香葡萄酒的香气轮廓存在差异。目前暂无对余甘子酒的挥发性香气成分的研究。【本研究切入点】传统的感官评价是评定果酒感官质量最有效可行的方法,但容易受较多主观因素影响,采用GC-MS可以有效地分离出酒中的香气成分并作出鉴定^[8]。【拟解决的关键问题】本试验以凉山野生余甘子为原料酿制余甘子果酒,探究不同的酵母菌株对余甘子酒挥发性香气成分及感官质量的影响,并采用模糊综合评判将感官质量与挥发性香气成分结合以期筛选适合余甘子酒的酵母菌株。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

余甘子:购自凉山州盐源县金河乡;5株活性干酵母菌株:EC1118和D254为法国拉曼公司产品,Top15、Aroma white和Perlage为意大利英纳蒂斯公司产品。

发酵助剂:酵母多糖,爱赛科有限公司。添加发酵助剂的主要作用是为提高酵母发酵速率,使酵母发酵彻底。

壬酸甲酯标准品,美国sigma公司;果胶酶(5万U/g),宁夏和氏璧生物技术有限公司;DPPH,2,4,6-三吡啶基三嗪、亚硝酸钠、硝酸铝、抗坏血酸、没食子酸等均为分析纯。

1.2 仪器与设备

7890A-5975C GC-MS,美国安捷伦公司;3001-2207全波段酶标仪,赛默飞世尔科技有限公司;DNP-9162电热恒温培养箱,上海精宏实验设备有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 余甘子酒的加工工艺 余甘子→挑选清洗→去核→酶解→糖水混合→成分调整→接种酵母→添加发酵助剂→倒罐→后发酵→陈酿,操作要点如下。

(1)酶解:添加0.01 g/kg的果胶酶,40℃酶解3 h,然后95℃灭酶5 min;

(2)糖水混合:余甘子原料含水量较少,TSS为14.5%,将余甘子果肉与糖水按1:2混合打浆使余甘子果浆的TSS为23%;

(3)成分调整:余甘子果浆的pH值较低为2.7,不利于酵母菌株的发酵,因此将果浆调整pH值为3.3,并加入80 mg/L SO₂密封3 h;

(4)接种酵母:按总体积称取0.25 g/kg的活性干酵母,然后加入至20 mL 10%糖水中,38 ℃活化0.5 h后添加至发酵罐中^[9];

(5)添加发酵助剂:取0.4 g/L的酵母多糖,用少量水溶解,在总糖消耗掉1/3时添加;

(6)后发酵:待发酵14 d后将余甘子酒用300目滤袋去除果肉后放置于1 000 mL广口瓶中于干燥的环境中进行后发酵。后发酵期间温度控制在20~25 ℃,密封好广口瓶尽量避免与空气接触以防止杂菌的污染。

(7)发酵终点:根据CO₂失重法,待酒液质量基本保持不变时结束发酵。

(8)陈酿:在发酵好的余甘子酒中加入50 mg/L的SO₂后放置在室温下进行密封陈酿。陈酿时间为2~3个月。

1.3.2 余甘子酒指标的测定 (1)酒精度、总糖、挥发酸、总酸、甲醇:参考GB/T 15038-2006《葡萄酒、果酒通用分析方法》^[10];

(2)挥发性香气成分:参考刘娟^[11]的方法,具体如下:

固相微萃取条件:取8 mL酒样、30% NaCl和5.0 μL 200 mg/L环己酮于15 mL顶空固相微萃取样品瓶中,加盖密封后在60 ℃的气浴恒温振荡器下震荡10 min。将萃取头(30/50 μm DVB/CAR/PDMS)插入顶空固相微萃取样品瓶中推出纤维于60 ℃水浴锅中萃取吸附30 min后取出进行气质测定。

GC条件:HP-5MS色谱柱(30 m×0.25 mm×0.25 μm),不分流进样,柱温采用程序升温,40 ℃保持8 min,以5 ℃/min升至185 ℃保持1 min,再以10 ℃/min的速度升至230 ℃保持23 min,总用时65 min,进样口温度260 ℃,检测器温度250 ℃,载气He,流速为1.0 mL/min。

MS条件:电离方式EI,电离电压70 eV,灯丝电流0.25 mA,电子倍增器电压为1 500 V,扫描范围30~350 m/z。

(3)感官评定:待发酵结束后余甘子果酒陈酿3个月后进行感官评价。评分标准参考魏永春等的标准^[12]略作修改,具体见表1。

表1 余甘子酒感官评定标准
Tab.1 Sensory evaluation criteria for Phyllanthus wines

项目 Project	评分标准 Grading	得分 Score
色泽(30) Color(30)	澄清、透明、余甘子酒呈禾黄色、悦目适宜	26~30
	澄清、透明、余甘子酒呈禾黄色	21~25
	澄清,带少量沉淀或悬浮物,浅红色	16~20
	稍微有点混浊,无光泽	15以下
香气(30) Aroma(30)	果香、酒香浓郁优雅,香味纯正协调	26~30
	果香、酒香尚可,香味欠佳	21~25
	果香、酒香不突出,香味不足	16~20
	香气不良或有其它异味,使人厌恶	15以下
口味(40) Taste(40)	酒体丰满、有新鲜感,醇厚协调、爽口、回味延绵	36~40
	酒质柔顺、柔和爽口、甜酸适当	31~35
	酒体尚协调、有一点酸味	26~30
	酒体寡淡、不协调、酸味较重,或有其它明显缺陷	21~25
	酸、涩、苦、平淡、有异味	20以下

1.4 数据分析

实验设3次重复,数据以平均值±标准偏差(SD)表示。使用SPSS 20.0软件作统计分析以及主成分分析(PCA)。差异的显著性水平为 $P<0.05$,不同字母表示具有显著差异。

2 结果与分析

2.1 酵母菌株对余甘子酒基础理化指标的影响

研究了 5 株酵母菌株所发酵余甘子酒基础理化指标,由表 2 可知,5 种余甘子酒的酒精体积浓度在 10.50%~11.11%,Perlage 酿制的余甘子酒酒精体积浓度显著低于其他酒($P<0.05$),同时酒精体积浓度含量最低,这表明 Perlage 酵母的糖利用率要低于其余 4 种酵母;5 种酒样的甲醇含量在 0.16~0.28 g/L,Perlage 与 EC1118 酿制的余甘子酒甲醇含量显著低于其他酒($P<0.05$)。EC1118 和 Top15 酿制的余甘子酒挥发酸含量较低,分别为 0.41 和 0.42 g/L;D254 酿制的余甘子酒挥发酸含量最高,为 0.67 g/L。5 种余甘子酒总酸含量在 8.15~9.34 g/L,pH 值在 3.42~3.52,果酒中适量的酸能够柔和其苦涩味,且高酸产生的低 pH 环境能够防止杂菌污染^[13]。

表 2 酵母菌株对余甘子酒基础理化指标的影响

Tab.2 Effect of yeast strains on basic physical and chemical indicators of *Phyllanthus* wines

酵母 Yeast	酒精度/(%Vol) Alcohol content	甲醇/(g·L ⁻¹) Methanol	挥发酸/(g·L ⁻¹) Volatile acid	总糖/(g·L ⁻¹) Total sugar	总酸/(g·L ⁻¹) Acid value	pH
Aroma white	10.95±0.04 ^a	0.21±0.01 ^b	0.61±0.01 ^b	7.53±0.34 ^b	9.25±0.20 ^a	3.42±0.02 ^c
D254	11.11±0.14 ^a	0.28±0.02 ^a	0.67±0.02 ^a	8.16±0.11 ^a	9.34±0.31 ^a	3.46±0.01 ^b
EC1118	10.99±0.01 ^a	0.18±0.01 ^c	0.41±0.04 ^d	7.54±0.45 ^b	8.15±0.12 ^c	3.52±0.01 ^a
Perlage	10.50±0.24 ^b	0.16±0.01 ^c	0.47±0.03 ^c	8.39±0.09 ^a	8.44±0.12 ^c	3.52±0.01 ^a
Top15	11.07±0.09 ^a	0.21±0.01 ^b	0.42±0.01 ^d	8.25±0.26 ^a	8.76±0.16 ^b	3.50±0.02 ^a

不同小写字母代表差异显著性, $P<0.05$

Different lowercase letters represent significant differences, $P<0.05$

2.2 不同酵母所发酵余甘子酒的挥发性香气成分

由表 3 可知,5 种酵母菌株酿制的余甘子酒在香气成分的种类与含量上均存在一定差异,与 Li 等^[14]的研究结果一致,即酵母菌株对香气成分有显著的影响。5 种酒样共鉴定了 47 种香气成分,醇类 8 种、酯类 18 种、醛酮类 7 种、酸类 2 种以及其它类 12 种,其中有 21 种是 5 种酒样共有的,说明 5 种酵母酿制的余甘子酒都拥有主体特征香气组分,同时也有其独有的香气成分,在种类和含量上存在一定的差异性,其中 Perlage 酿制的酒样种类最丰富,EC1118 酿制的酒样香气总含量最高。5 种酒样醇类和酯类物质含量均较高,为余甘子酒的主要香气成分。

2.2.1 醇类 醇类物质是果酒中重要风味物质,如表 3 所示,5 种余甘子酒中共检出 8 种醇类物质,含量在 332.72~523.41 μg/L,EC1118 酿制的酒中醇类物质含量最高,说明 EC1118 的产醇能力总体优于其余 4 种酵母;异戊醇、2,3-丁二醇、苯乙醇在 5 种酒样中均检出且含量较高,是余甘子酒主体香气成分之一。有研究表明,少量的高级醇能赋予果酒优雅的香气,使果酒香气更加完美^[15],如异戊醇有苹果白兰地香气和辛辣味,被认为是高级醇中最重要的挥发性物质^[6],苯乙醇有类似于玫瑰、紫罗兰、茉莉花等香味,少量的浓度就能产生很高的玫瑰香味,是果酒中主要的呈香物质之一^[16]。5 种酒样中,D254 酿制的酒样中异戊醇含量最高,EC1118 酿制的酒样中苯乙醇含量最高。2,3-丁二醇是酒类中极少呈香的多元醇之一,主要呈现出淡雅细腻的玫瑰香气,EC1118 酿制的酒样中 2,3-丁二醇含量显著高于其它 4 种酒样($P<0.05$)。

2.2.2 酯类 酯类化合物是果酒酿造过程的副产物,可调节酒中的其它气味,使果酒的香味更加浓厚^[17]。如表 3 所示,在 5 种酒样中共检出 18 种酯类化合物,EC1118 酿制的酒样其酯类总含量最高,为 543.33 μg/L。在余甘子酒中,共检测出 15 种乙酯类化合物,分别为:2-糠酸乙酯、苯甲酸乙酯、丁二酸二乙酯、辛酸乙酯、苯乙酸乙酯、乙酸苯乙酯、壬酸乙酯、癸酸乙酯、3-苯丙酸乙酯、9-癸烯酸乙酯、肉桂酸乙酯、十三烷酸-3-羟基乙酯、月桂酸乙酯、9-十六碳烯酸乙酯、软脂酸乙酯。乙酯是余甘子酒中最重要的芳香化合物之一,主要呈现出水果香、花香,赋予酒怡人的香气^[18],其浓度取决于酵母菌株、发酵温度、通气量和糖含量^[19]。5 种酒样中月桂酸乙酯明显高于其它乙酯类物质,其主要表现为持久的肉桂、草莓香气和蜂蜜味道,EC1118 酿制的酒样中肉桂酸乙酯含量高于其它 4 种酒样($P<0.05$)。

表 3 不同酵母所发酵余甘子酒的挥发性香气成分

序号 Serial number	类别 Category	物质 Substance	Aroma white	D254	EC1118	Perlge	Top 15
1	醇类 Alcohol	异戊醇	300.87±0.14 ^a	339.38±45.01 ^a	308.03±9.56 ^a	239.36±31.10 ^b	161.47±36.20 ^b
2		2,3-丁二醇	6.18±4.03 ^c	7.64±2.25 ^c	37.63±8.49 ^a	25.55±1.33 ^b	31.58±3.57 ^{ab}
3		3-甲硫基丙醇	—	—	1.29±0.41	—	1.07±0.80
4		芳樟醇	—	6.86±1.54 ^b	8.68±2.27 ^b	7.52±4.41 ^b	17.75±4.28 ^a
5		苯乙醇	156.80±17.50 ^a	88.77±10.31 ^c	159.31±28.31 ^a	137.78±30.29 ^{ab}	109.05±36.64 ^c
6		(R)-(+)- β -香茅醇	0.64±0.08 ^a	—	0.96±0.32 ^a	0.60±0.26 ^a	0.75±0.22 ^a
7		橙花叔醇	0.91±0.06 ^b	1.16±0.51 ^b	1.08±0.40 ^b	2.06±0.74 ^a	0.89±0.22 ^b
8		(-)-4-萜品醇	4.21±0.53 ^a	8.46±2.03 ^a	6.43±1.15 ^a	8.10±4.26 ^a	5.78±1.18 ^a
		醇类小计	469.61	452.27	523.41	420.97	328.34
9	酯类 Esters	2-糠酸乙酯	1.52±0.28 ^a	1.89±0.27 ^a	1.70±0.26 ^a	2.01±1.00 ^a	1.97±0.61 ^a
10		苯甲酸乙酯	17.41±1.87 ^a	17.52±6.58 ^a	14.71±3.21 ^a	22.04±8.63 ^a	16.44±3.26 ^a
11		丁二酸二乙酯	2.57±0.54	3.65±1.26	—	—	—
12		水杨酸甲酯	5.32±0.46 ^b	7.96±2.14 ^b	26.23±9.00 ^a	24.80±7.34 ^a	6.93±4.27 ^b
13		辛酸乙酯	5.88±1.76 ^b	4.67±2.94 ^b	—	10.67±2.61 ^a	3.29±0.52 ^b
14		苯乙酸乙酯	0.70±0.10 ^a	0.77±0.24 ^a	—	—	0.83±0.36 ^a
15		乙酸苯乙酯	7.60±1.34 ^a	6.76±1.68 ^a	—	7.36±1.29 ^a	5.13±1.68 ^a
16		壬酸乙酯	24.43±7.71 ^a	23.84±1.08 ^a	23.10±1.19 ^a	24.68±0.88 ^a	24.10±0.58 ^a
17		3-苯丙酸乙酯	15.43±1.54 ^a	1.58±0.62 ^b	1.40±0.30 ^b	2.42±1.24 ^b	1.54±0.37 ^b
18		桂酸甲酯	6.75±1.08 ^b	7.54±2.83 ^{ab}	8.76±2.51 ^{ab}	7.71±3.01 ^{ab}	10.92±1.73 ^a
19		9-癸烯酸乙酯	2.94±0.53	—	—	—	—
20		癸酸乙酯	1.02±0.26 ^b	1.00±0.44 ^b	0.87±0.32 ^b	2.22±0.82 ^a	0.55±0.22 ^b
21		肉桂酸乙酯	412.78±46.30 ^{ab}	337.15±53.57 ^c	464.71±15.43 ^a	396.04±11.28 ^b	271.99±21.56 ^d
22		十三烷酸,3-羟乙酯	—	0.66±0.20	—	0.74±0.34	—
23		月桂酸乙酯	0.81±0.21 ^b	0.31±0.08 ^{ab}	—	1.36±0.46 ^a	—
24		邻苯二甲酸二丁酯	0.54±0.01 ^b	0.63±0.18 ^{ab}	0.63±0.25 ^{ab}	0.90±0.12 ^a	0.49±0.16 ^b
25		9-十六碳烯酸乙酯	—	—	—	0.44±0.18	—
26		软脂酸乙酯	1.00±0.32 ^a	0.94±0.37 ^a	1.22±0.21 ^a	1.02±0.25 ^a	0.84±0.05 ^a
		酯类小计	506.70	416.87	543.33	504.41	345.02
27	醛酮类 Aldehydes	苯甲醛	2.12±0.31 ^{ab}	2.17±0.43 ^{ab}	2.91±0.88 ^a	0.76±0.33 ^c	1.40±0.96 ^{bc}
28		苯乙醛	0.90±0.14	—	—	0.84±0.36	—
29		壬醛	—	—	—	1.16±0.13	—
30		癸醛	—	—	—	0.99±0.18	—
31		2,4-二甲基苯甲醛	9.39±2.19 ^a	12.18±4.95 ^a	13.96±0.81 ^a	13.51±7.26 ^a	10.53±2.33 ^a
32		苯丁酮	0.35±0.06	—	—	—	—
33	脂肪酸类 Fatty acids	香叶基丙酮	0.68±0.05	—	—	—	—
		醛酮类小计	13.09	27.44	16.87	34.13	11.93
34		辛酸	11.11±1.17 ^a	21.97±7.03 ^a	—	22.79±8.81 ^a	—
35		癸酸	4.14±0.99 ^b	8.21±1.75 ^{ab}	16.58±6.89 ^a	15.58±6.48 ^a	10.43±1.17 ^{ab}
		酸类小计	14.23	30.18	16.58	38.37	10.43
36	其它类 Others	苯乙烯	—	—	—	7.23±3.24	0.68±0.64
37		茴香脑	0.62±0.09 ^a	0.63±0.24 ^a	—	0.95±0.33 ^a	—
38		顺- β -金合欢烯	—	—	—	0.69±0.16	—
39		对甲氧基苯乙烯	—	2.05±0.29 ^b	1.93±0.56 ^b	3.44±1.10 ^a	1.80±0.44 ^b
40		1-乙氧基戊烷	—	—	—	2.48±0.28	—
41		十八烷	0.62±0.16 ^a	1.07±0.38 ^a	0.57±0.18 ^a	0.58±0.18 ^a	0.61±0.29 ^a
42		十四烷	—	0.5±0.27 ^a	0.56±0.17 ^a	—	0.53±0.19 ^a
43		正二十五烷	—	0.55±0.27	—	—	—
44		二十烷	—	0.48±0.19	—	—	—
45		十六烷	0.88±0.16 ^{ab}	1.45±0.36 ^a	0.71±0.28 ^b	0.79±0.34 ^b	0.97±0.42 ^{ab}
46		十七烷	—	0.57±0.06	—	—	—
47		2,4-二特丁基苯酚	6.19±1.54 ^c	10.55±1.68 ^b	14.92±1.10 ^a	6.93±1.97 ^c	9.77±1.30 ^b
		其它类小计	8.31	17.85	18.62	23.00	14.36
		总计	1 009.92	944.61	1 118.81	1 020.88	414.46

不同小写字母代表差异显著性, $P<0.05$ Different lowercase letters represent significant differences, $P<0.05$

2.2.3 醛酮类 醛酮类化合物是一类产生令人愉快的水果香和花香的化合物^[17]。在余甘子酒样中一共检测出 7 种醛酮类物质,含量在 11.93~34.13 μg/L。苯甲醛和 2,4-二甲基苯甲醛在 5 种酒样中均有检出。苯甲醛具有甜杏仁、樱桃和坚果的风味,EC1118 酿制的余甘子酒中苯甲醛含量最高;2,4-二甲基苯甲醛具有樱桃、杏仁、香料和香草的风味,其含量在 5 种酒样中差异不显著($P>0.05$)。壬醛和癸醛是 Perlage 酿制的酒样特有,壬醛具有强烈的脂肪臭和果香香气,癸醛具有类似柠檬油的脂蜡状香气。

2.2.4 脂肪酸类 短链到中链脂肪酸如正己酸、正辛酸、癸酸的产量一般较低,这对果酒的芳香气味是积极的^[20]。在 5 种酒样中仅检出 2 种脂肪酸,癸酸和辛酸,含量在 10.43~38.37 μg/L,癸酸在 5 种酒样中均有检出,辛酸仅在 Aroma white、D254 和 Perlage 酿制的酒样中检出。辛酸属于低级脂肪酸,具有明显奶酪和粗涩的味感,但却能平衡果酒的香气,抑制芳香酯的水解,对整体酒质结构具有重要作用^[21]。

2.3 挥发性香气成分含量的主成分分析

为了能较准确的判别出不同酵母对余甘子酒中挥发性香气成分的影响,对 5 种酒样中共有的挥发性香气成分进行了主成分分析。其主成分的特征值及贡献率见表 4。前 3 个主成分的累积贡献率已经达到了 87.05%,能基本反应酒中的挥发性香气成分的差异,其特征值均大于 1,因此选用前 3 个主成分进行分析。

由图 1 可知,不同酵母发酵所得余甘子酒中的挥发性香气成分之间存在一定的差异,可以通过 5 种酒样的前 3 个主成分得分来区分不同酵母所发酵的余甘子酒,由于酵母 Top15 和 EC1118 发酵的余甘子酒的前 3 主成分得分相近,因此将其归为 1 类,而其余酵母发酵得到的余甘子酒前 3 主成分得分相差较大,因此各为 1 类,故 5 种酵母发酵的余甘子酒通过香气成分可以分为 4 类。图 1 同时也表示 47 种挥发性香气成分载荷图,因子的载荷系数越大表明该香气成分对主成分越重要。由此可以看出,橙花叔醇(0.963)、苯甲酸乙酯(0.967)、辛酸乙酯(0.908)、癸酸乙酯(0.980)、月桂酸乙酯(0.899)、邻苯二甲酸二丁酯(0.921)、9-十六碳烯酸乙酯(0.975)、壬醛(0.975)、癸醛(0.975)、苯乙烯(0.961)、顺-β-金合欢烯(0.975)、1-乙氧基戊烷(0.975)与第一主成分呈正相关;2,3-丁二醇(0.969)、癸酸(0.921)与第二主成分呈正相关,而丁二酸二乙酯(-0.839)与第二主成分呈负相关;十八烷(0.858)、正二十五烷(0.877)、二十烷(0.877)、十六烷(0.858)、十七烷(0.877)与第三主成分呈正相关,苯乙醇(-0.917)与第三主成分呈负相关。Perlage 酿制的余甘子酒第一成分得分最高,这是因其拥有最高的苯甲酸乙酯、辛酸乙酯,且 9-十六碳烯酸乙酯、壬醛、癸醛、顺-β-金合欢烯、1-乙氧基戊烷是 Perlage 酿制的余甘子酒所特有的挥发性香气成分;EC1118 酿制的余甘子酒第二主成分得分最高,这与拥有最高的 2,3-丁二醇、癸酸有关;D254 酿制的余甘子酒第三主成分得分最高。

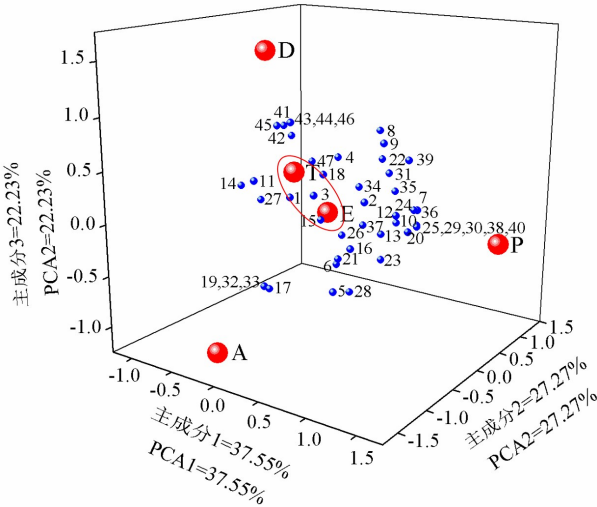


图 1 挥发性香气成分的主成分分析

Fig.1 Principal component analysis of volatile aroma components

表 4 主成分的特征值及贡献率

Tab.4 characteristic values and contribution rates of principal components

主成分	特征值	贡献率/%	累积贡献率/%
Main ingredient	Eigenvalues	Contribution rate	Cumulative contribution rate
1	17.65	37.55	37.55
2	12.82	27.27	64.81
3	10.45	22.23	87.05
4	6.09	12.96	100.00

2.4 酵母菌株对余甘子酒的感官评价

对 5 种不同酵母发酵所得余甘子酒进行感官评定,由表 5 可知,EC1118 所酿制余甘子酒感官得分最高,为 80.6 分。Top15 酿制的余甘子酒感官得分显著低于其它酒样($P<0.05$)。

表 5 不同酵母对余甘子酒感官得分的影响

Tab.5 Effect of different yeasts on sensory scores of *Phyllanthus* wines

酵母菌株 Yeast strain	感官特性 Sensory characteristics			
	色泽 Color	香气 Arome	口味 Taste	综合评分 Overall rating
Aroma white	26.2±3.2 ^a	26.6±3.4 ^a	27.1±5.0 ^a	79.9±7.6 ^a
D254	27.4±2.7 ^a	26.0±2.2 ^a	25.2±4.8 ^a	78.6±6.0 ^a
EC1118	26.6±3.9 ^a	26.8±3.1 ^a	27.2±6.3 ^a	80.6±9.1 ^a
Perlage	27.5±2.8 ^a	25.1±3.3 ^a	26.5±5.0 ^a	79.1±7.2 ^a
Top15	22.2±3.6 ^b	24.8±6.6 ^a	22.6±3.7 ^a	69.6±10.3 ^b

不同小写字母代表差异显著性, $P<0.05$

Different lowercase letters represent significant differences, $P<0.05$

2.5 模糊综合评判

由于感官评价有一定的主观性,不能准确地筛选出最佳的酵母菌株。将不同酵母酿制的余甘子酒的感官评分结合余甘子挥发性香气成分的质量浓度进行分析,利用模糊综合评判法优选出最适合余甘子酒的酵母菌株。

(1)建立判别对象集。 $U=\{U_1, U_2, U_3, U_4, U_5\}$, 其中: U_1 : Aroma white 酿制的酒样; U_2 : D254 酿制的酒样; U_3 : EC1118 酿制的酒样; U_4 : Perlage 酿制的酒样; U_5 : Top15 酿制的酒样。

(2)建立评判因素集。由评判对象香气成分的分类,可以得出醇类和酯类化合物为主要因素,结合感官评价表建立判别因子集。

$X=\{X_1, X_2, X_3\}$, 其中: X_1 : 感官得分; X_2 : 主要醇类化合物含量; X_3 : 主要酯类化合物含量。

(3)建立评判因素集。根据表 4 构造感官评分因素的隶属度函数

$$U(X_1)=X_1/100, 60 \leq X_1 < 100 \quad (1)$$

由于余甘子酒的香气成分含量与酒品质呈正相关,故可构造线形上升的隶属函数。结合表 3 构造醇类、酯类隶属度函数表达式分别:

$$U(X_2)=\begin{cases} 1, & X_2 \geq 500 \\ (X_2 - 350)/150, & 350 \leq X_2 < 500 \\ 0, & X_2 < 350 \end{cases} \quad (2)$$

$$U(X_3)=\begin{cases} 1, & X_3 \geq 520 \\ (X_3 - 350)/170, & 350 \leq X_3 < 520 \\ 0, & X_3 < 350 \end{cases} \quad (3)$$

(4)建立权重集。经分析表明,酯类化合物较醇类化合物对果酒的呈香特征贡献大,再结合感官评价,根据德尔菲法^[22],确定判断中的权利分配: $A=\{a_1, a_2, \dots, a_n\}=\{a_1, a_2, a_3\}=\{0.35, 0.30, 0.35\}$ 。其中, $\sum_{i=1}^n a_i = 1$ ($i=1, 2, \dots, n$)。

(5)模糊综合评判计算。对 U_i 的每一因子利用 $U(X_i)$ 进行模糊化,可得到 $X \times U$ 上的模糊关系矩阵

$$R = \begin{bmatrix} 0.799 & 0.786 & 0.806 & 0.791 & 0.696 \\ 0.797 & 0.682 & 1 & 0.473 & 0 \\ 0.921 & 0.393 & 1 & 0.908 & 0 \end{bmatrix} \quad (4)$$

用模糊线性变换,得到的评判结果为:

$$B = A * R = [0.841 \quad 0.618 \quad 0.932 \quad 0.737 \quad 0.244] \quad (5)$$

其中,模糊算子为 $M(\times, \oplus)$, 结果归一化,得到

$$R = [0.249 \quad 0.183 \quad 0.276 \quad 0.219 \quad 0.072] \quad (6)$$

模糊综合评判的结果可表明酒样综合质量的优劣,从模型的结果可以得出发酵余甘子酒的酵母菌株优劣顺序依次为EC1118、Aroma white、Perlage、D254和Top15。这与感官评定的结果一致,表明利用该模型结合感官评分更具有客观性与说服力。

3 结论与讨论

酵母是酿造果酒的关键因素之一,不同酵母在糖酵解过程因其酶活的差异导致了代谢糖、酸、甘油及香气成分的差异^[23]。郑娇等^[13]研究了3种不同酵母菌株对海红果酒的理化性质及香气成分进行了研究,结果表明酵母ICV254的所得发酵酒的酒精度高、残糖量低、酸度低、感官评分好,同时香气成分多;李双石^[24]研究了不同酵母对葡萄酒香气成分的影响,结果表明不同酵母发酵葡萄酒样中香气成分的种类和含量均具有明显差异。本研究通过对5株酵母所酿制的余甘子酒的理化性质进行对比,Perlage酵母的糖利用率低于其余4种酵母,EC1118酿制的酒样其酒精度适中,甲醇、挥发酸较低。通过GC-MS对5种余甘子酒的挥发性香气成分进行分析,共鉴定出47种挥发性香气成分,主要为醇类与酯类物质。EC1118酿制的酒样总香气成分含量最高,为1118.81 $\mu\text{g/L}$ 。

主成分分析可以将错综复杂的关系变量归结为少数几个综合因子,其目的是为了简化数据和揭示变量间的关系^[25]。目前该方法已经广泛地应用于果酒香气成分的分析中。黎星辰^[26]、李凯^[7]等采用主成分分析对分析不同商业酿酒酵母对果酒香气成分进行分析,均发现能有效地区分不同商业酵母。本试验采用主成分分析可将5种酿酒酵母有效的进行区分。经感官评价EC1118酿制的余甘子酒感官得分最高。将感官得分与挥发性香气成分结合进行模糊综合评判,得出5种酵母菌株酿制的余甘子酒的优劣顺序依次为EC1118、Aroma white、Perlage、D254和Top15,与感官得分结果一致。综合考虑,EC1118更适合作为酿制优质余甘子酒的发酵菌株。

参考文献:

- [1] Poltanov E A, Shikov A N, Dorman H J D, et al. Chemical and antioxidant evaluation of Indian gooseberry (*Emblica officinalis* Gaertn, syn. *Phyllanthus emblica* L.) supplements[J]. *Phytotherapy Research*, 2009, 23(9): 1309-1315.
- [2] Barthakur N N, Arnold N P. Chemical analysis of the emblic (*Phyllanthus emblica* L.) and its potential as a food source[J]. *Organometallics*, 1991, 40(6): 111-124.
- [3] Riveralopez J, Ordoricafalomir C, Wescheebeling P. Changes in anthocyanin concentration in Lychee (*Litchi chinensis*, Sonn.) pericarp during maturation[J]. *Food Chemistry*, 1999, 65(2): 195-200.
- [4] 刘晓丽, 赵谋明. 余甘子的综合利用研究[J]. *食品与机械*, 2006, 22(4): 90-93.
Liu X L, Zhao M M, Research on *Phyllanthus emblica* L.'s comprehensive utilization[J]. *Food and Machinery*, 2006, 22(4): 90-93.
- [5] 郝瑞颖, 王肇悦, 张博润, 等. 葡萄酒中酿酒酵母产生的重要香气化合物及其代谢调控[J]. *中国食品学报*, 2012, 12(11): 121-127.
Hao R Y, Wang Z Y, Zhang B R, et al. The metabolism regulation of important aromatic compounds produced by *Saccharomyces cerevisiae* in wine[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2012, 12(11): 121-127.
- [6] 杨婷, 祝霞, 赵宾宾, 等. 不同酿酒酵母对甜瓜酒香气品质的影响分析[J]. *食品科学*, 2015, 36(14): 145-150.
Yang T, Zhu X, Zhao B B, et al. Analysis of aromatic compositions of sweet melon wines fermented with different yeast strains[J]. *Food Science*, 2015, 36(14): 145-150.
- [7] 李凯, 商佳胤, 黄建全, 等. 应用顶空固相微萃取-气相色谱质谱技术分析不同商业酿酒酵母对玫瑰香葡萄酒香气成分的影响[J]. *食品与发酵工业*, 2017(10): 217-224.
Li K, Shang J Y, Huang J Q, et al. Using HS-SPME-GC-MS to analyze the influence of different commercial *Saccharomyces cerevisiae* on aroma components in Muscat Hamburg wine[J]. *Food and Fermentation Industry*, 2017(10): 217-224.
- [8] 熊月丰, 吴文惠. 葡萄酒香气物质的研究方法进展[J]. *酿酒*, 2014, 41(5): 23-28.
Xiong Y F, Wu W H, Current advances in the methods of wine aroma[J]. *Liouor, Making*, 2014, 41(5): 23-28.
- [9] 姚立兵, 邵红, 张文. 活性干酵母扩大培养的研究[J]. *酿酒*, 2002, 29(5): 47-48.
Yao L B, Shao H, Zhang W, Study on expansion culture of active dry yeast[J]. *Liouor, Making*, 2002, 29(5): 47-48.
- [10] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 葡萄酒、果酒通用分析方法: GB/T 15038—2006[S]. 北京: 中国标准出版社, 2006.

- General administration of quality supervision, inspection and quarantine of the People's Republic of China. General analysis methods for wine and fruit wine: GB/T 15038—2006[S]. Beijing: Standard Press of China, 2006.
- [11] 刘娟. 猕猴桃皮渣白兰地酿造工艺的研究[D]. 雅安: 四川农业大学, 2014.
Liu G, Research on the brewing technology of Chinese gooseberry pomace brandy[D]. Ya'an: Sichuan Agricultural University, 2014.
- [12] 魏永春, 苟斌全, 张志良. 苹果酒发酵工艺研究[J]. 广东化工, 2011, 38(1): 32-34.
Wei Y C, Gou B Q, Zhang Z L, Study on the optimizing technique of Cider fermentation[J]. Guangdong Chemical Industry, 2011, 38(1): 32-34.
- [13] 郑娇, 俞月丽, 彭强, 等. 不同酵母菌种对发酵海红果酒品质的影响研究[J]. 现代食品科技, 2017, 33(1): 234-242.
Zheng J, Yu Y L, Peng Q, et al. Effect of different yeast on qualities of Haihong Wine[J]. Modern Food Technology, 33(1): 234-242.
Li X, Yu B, Curran P, et al. Chemical and volatile composition of mango wines fermented with different *Saccharomyces cerevisiae* yeast strains[J]. South African Journal for Enology & Viticulture, 2011, 32(1): 117-128.
- [14] 康明丽, 潘思轶, 范刚, 等. 柑橘果酒酿造过程中挥发性风味化合物的变化[J]. 食品科学, 2015, 36(18): 155-161.
Kang M L, Pan S Y, Fan G, et al. Changes in volatile compounds in satsuma mandarin wine with different fermentation periods[J]. Food Science, Food Science, 2015, 36(18): 155-161.
- [15] 张军, 肖冬光, 胡亚丽, 等. 专用酵母生产的玫瑰香葡萄酒风味特征分析[J]. 酿酒科技, 2010, 193(7): 80-83.
Zhang J, Xiao D G, Hu Y L, et al. Analysis of the flavoring compositions in muscat grape wine fermented by the yeast for exclusive use[J]. Winemaking Technology, 2010, 193(7): 80-83.
- [16] Bartowsky E J, Henschke P A. The 'buttery' attribute of wine-diacetyl-desirability, spoilage and beyond[J]. International Journal of Food Microbiology, 2004, 96(3): 235-252.
- [17] 张琰莉. 新疆天山北麓赤霞珠干红葡萄酒酚类物质和香气物质分析研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2011.
Zhang Y L. Polyphenols and aromatic components analysis of *Cabernet sauvignon* wine products in Xinjiang Tianshan Mountains North Region[D]. Yang Ling: Northwest A & F University, 2011.
- [18] 范文来, 徐岩. 酒类风味化学[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2014.
Fang W L, Xu Y, Liquor flavor Chemistry[M]. Beijing: China Light Industry Press, 2014.
- [19] Duarte W F, Dias D R, Jose M. Oliveir A, et al. Raspberry (*Rubus idaeus* L.) wine: Yeast selection, sensory evaluation and instrumental analysis of volatile and other compounds[J]. Food Research International, 2010, 43(9): 0-2 314.
- [20] Li X, Lim S L, Yu B, et al. Impact of pulp on the chemical profile of Mango Wine[J]. South African Journal for Enology & Viticulture, 2013, 34(1): 119-128.
- [21] Edwards C G, Beelman R B, Bartley C E, et al. Production of decanoic acid and other volatile compounds and the growth of yeast and malolactic bacteria during vinification[J]. American Journal of Enology & Viticulture, 1990, 93(1): 48-56.
- [22] Williams P L, Webb C. The Delphi technique: a methodological discussion[J]. Journal of Advanced Nursing, 1994, 19(1): 180-186.
- [23] Romano P, Fiore C, Paraggio M, et al. Function of yeast species and strains in wine flavour[J]. International Journal of Food Microbiology, 2003, 86(12): 169-180.
- [24] 李双石, 李淳, 吴志明, 等. 不同酵母发酵对葡萄酒香气成分的影响[J]. 食品研究与开发, 2012, 33(11): 25-29.
Li S S, Li B, Wu Z M, et al. Influence of different yeast strains on aromatic components in wines[J]. Food Research and Development, 2012, 33(11): 25-29.
- [25] 贺鹏, 张涛, 宋海云, 等. 澳洲坚果露酒营养评价及香气质量综合评价[J]. 南方农业学报, 2018, 49(8): 1619-1626.
He P, Zheng T, Song H Y, et al. Nutritional evaluation and aroma quality comprehensive evaluation for *Macadamia integrifolia* wine[J]. Southern Agricultural Journal, 2018, 49(8): 1619-1626.
- [26] 黎星辰, 马力, 曹琳, 等. 不同酿酒酵母发酵猕猴桃酒香气成分研究[J]. 食品科技, 2016, 41(7): 72-77.
Li X C, Ma L, Cao L, et al. Study on aromatic components of kiwifruit wine fermented with different yeast strains[J]. Food Technology, 2016, 41(7): 72-77.