

不同拐枣酒抗氧化性及香气成分对比分析

赖晓琴^{1,2}, 喻康杰¹, 魏鑫¹, 冷银江¹, 陈晓蛟¹, 刁体伟¹, 马懿^{1,2*}

(1. 四川轻化工大学 生物工程学院, 四川 宜宾 644005; 2. 四川省酿酒专用粮工程技术研究中心, 四川 宜宾 644000)

摘要: 以拐枣为原材料, 经固态发酵、液态发酵、白酒浸泡分别制成拐枣酒。借助紫外分光光度法、顶空固相微萃取(headspace solid-phase microextraction, HS-SPME)及气相色谱-质谱联用技术(gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS)分析3种酒的理化指标、活性成分(总黄酮、总酚)、抗氧化活性及香气成分等方面的差异。结果表明, 3种酒的活性成分和抗氧化活性存在显著差异, 香气成分各有特色。液态发酵拐枣酒的总黄酮、总酚含量均显著高于拐枣浸泡酒和固态发酵拐枣酒($P<0.05$), 3种酒的总黄酮含量分别为349.52、255.00、89.84 mg/L; 总酚含量分别为905.02、413.28、215.34 mg/L。液态发酵拐枣酒的清除3种自由基能力及总还原能力最强, 拐枣浸泡酒次之。3种酒共检测出43种香气成分, 其中液态发酵拐枣酒、拐枣浸泡酒、固态发酵拐枣酒分别检测到32、20、33种香气成分, 液态发酵拐枣酒中含有较高含量的癸酸乙酯、辛酸乙酯、丁酸乙酯等酯类成分, 为酒体带来愉悦的果香、花香、白兰地酒香。综上所述, 将拐枣作为原料进行液态发酵制成拐枣酒的品质较为优良。

关键词: 液态发酵; 固态发酵; 拐枣酒; 活性成分; 抗氧化活性; 香气成分

Comparison of Antioxidant Activities and Aroma Components in Different *Hovenia acerba* Wines

LAI Xiaoqin^{1,2}, YU Kangjie¹, WEI Xin¹, LENG Yinjiang¹, CHEN Xiaojiao¹, DIAO Tiwei¹, MA Yi^{1,2*}

(1. School of Biological Engineering, Sichuan University of Science & Engineering, Yibin 644005, Sichuan, China; 2. Sichuan Engineering Technology Research Center for Liquor-Making Grains, Yibin 644000, Sichuan, China)

Abstract: This paper used *Hovenia acerba* as raw material to make different *H. acerba* wines by solid fermentation, liquid fermentation, and liquor soaking, respectively. The ultraviolet spectrophotometer, headspace solid-phase microextraction (HS-SPME), and gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) were used to analyze the differences of physicochemical indexes, active components (total flavonoids and total phenols), antioxidant activities, and aroma components among the three wines. The results showed that there were significant differences in the active components and antioxidant activities of the three wines, and the aroma components had their own characteristics. The content of total flavonoids and total phenols in the liquid-fermented wine was significantly higher than that in the solid-fermented wine and soaking wine ($P<0.05$). The content of total flavonoids in the three wines was 349.52, 255.00 mg/L, and 89.84 mg/L, respectively. The content of total phenols was 905.02, 413.28 mg/L, and 215.34 mg/L, respectively. The liquid-fermented wine had the strongest ability of eliminating three kinds of free radicals and total reducing ability, followed by the soaking wine. Among them, 32, 20 aroma, and 33 aroma components were detected in the liquid-fermented, soaking, and solid-fermented wines, respectively. The liquid-fermented wine contained high content of esters such as ethyl decanoate, ethyl octanoate, and ethyl butyrate, which brought pleasant fruit, flower, and brandy aromas to the wine. To sum up, the quality of the liquid-fermented *H. acerba* wine was better.

Key words: liquid fermentation; solid fermentation; *Hovenia acerba* wine; active components; antioxidant activities; aroma components

基金项目: 国家自然科学基金项目(31801458); 四川轻化工大学研究生创新基金项目(y2021052)

作者简介: 赖晓琴(1996—), 女(汉), 硕士研究生, 研究方向: 食品工程。

* 通信作者: 马懿(1983—), 男(汉), 副教授, 博士研究生, 研究方向: 食品工程。

引文格式:

赖晓琴,喻康杰,魏鑫,等.不同拐枣酒抗氧化性及香气成分对比分析[J].食品研究与开发,2023,44(15):8-14,104.

LAI Xiaoqin, YU Kangjie, WEI Xin, et al. Comparison of Antioxidant Activities and Aroma Components in Different *Hovenia acerba* Wines[J]. Food Research and Development, 2023, 44(15):8-14, 104.

拐枣(*Hovenia acerba* Lindl)又名枳椇、万寿果等,盛产于陕西、四川等地区。拐枣富含多糖、苹果酸钙、蛋白质、纤维素、矿物质及黄酮类化合物,具有较高的营养价值,兼具抗氧化、抗炎、抑菌、抗肿瘤及提高胰岛素敏感性等功效^[1-2]。拐枣含糖量为36%~41%,高于常见高糖植物甘蔗(12%~15%)和甜菜(15%~20%)等,宜生食,可作为滋补功能性产品,也是一种良好的酿酒原料^[3]。目前,拐枣初级加工制品主要有拐枣果梗汁饮料、拐枣酒、拐枣醋以及拐枣浸泡酒等^[4]。

拐枣酒风味独特,在我国具有悠久的酿造历史,将拐枣浸泡到白酒基酒中,可制作成具有较高活性功能成分的拐枣浸泡酒。和德文^[5]将拐枣和高粱等传统酿酒原料相结合,所酿造的拐枣酒不仅具有高粱酒的醇香,还赋予酒体拐枣的清香。向金环^[6]以拐枣为原料,从拐枣果实筛选野生酵母进行自然发酵,并对果渣和果汁进行2次发酵,得到的拐枣酒出酒率高、口感更加清香自然。唐兰芳等^[7]对拐枣发酵酒和拐枣露酒的抗氧化性进行了比较分析,得知二者均具有很高的抗氧化性,但拐枣发酵酒具有更高的多酚、黄酮、抗坏血酸含量。尽管已有大量研究对拐枣酿造工艺、抗氧化性、功能性等进行了探讨,但对不同工艺所酿拐枣酒品质还缺乏完善的科学试验研究,对于拐枣酒品质的评判标准也较单一。

因此,本研究以拐枣为原料,制备液态发酵拐枣酒、固态发酵拐枣酒以及拐枣浸泡酒;借助紫外分光光度法、顶空固相微萃取(headspace solid-phase micro-extraction, HS-SPME)及气相色谱-质谱联用技术(gas

chromatography-mass spectrometry, GC-MS)分析3种酒的活性成分含量、抗氧化活性及香味物质等方面的差异,以期为拐枣酒酿造工艺的选择及拐枣酒品质的提升提供一定的理论依据,为拐枣植物的进一步开发利用提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

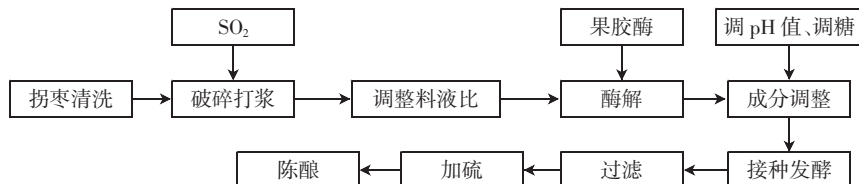
拐枣:10月采自四川万源;东北糯红高粱:市售;糠壳:五粮液原料厂;小曲:重庆市合川区鑫星曲药厂;白砂糖:宜宾县易用仪器有限公司;酿酒酵母:安琪酵母股份有限公司;芦丁标准品(纯度 $\geq 98.0\%$)、没食子酸标准品(纯度 $\geq 98.0\%$)、福林酚试剂、亚铁氰化钾、水杨酸、过硫酸钾、果胶酶(500 U/mg)、邻苯二甲酸氢钾、偏重亚硫酸钾(食品级)、甲醇、葡萄糖:成都市科隆化学有限公司。除标注外均为分析纯。

1.2 仪器与设备

DHG-9140 电热恒温鼓风干燥箱:上海齐欣科学仪器有限公司;UVmini-1240 紫外-可见分光光度计:翱艺仪器有限公司;HC-3018 高速离心机:上海卢湘仪离心机仪器有限公司;YP20002 电子天平:奥豪斯仪器有限公司;HH-M6 电热水浴锅、GZ-250-S 生化培养箱:上海博迅医疗生物仪器公司;TSQ8000 气相色谱质谱联用仪:美国 Thermo 公司。

1.3 试验方法

1.3.1 液态发酵拐枣酒的制备



1.3.1.1 拐枣破碎、打浆

选择成熟度高无霉变的拐枣,去籽清洗,破碎加水,加入160 mg/L 偏重亚硫酸钾。

1.3.1.2 果胶酶酶解。

拐枣浆中加入0.3~0.6 mg/L 的果胶酶在50℃条件下酶解24 h。

1.3.1.3 成分调整

加入适量的白砂糖将糖度调至20~22°Brix(糖度检测使用手持糖度计),调节酸度使其pH值为3.5~4.0。

1.3.1.4 接种

称取适量活性干酵母于20 mL 5%糖水中,于35℃水浴锅活化1 h。再将其接种到拐枣汁中进行发酵,接

种量为0.05%。

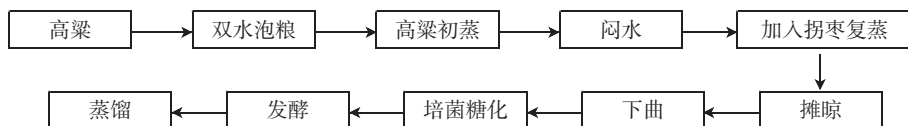
1.3.1.5 发酵、陈酿

将接种后的拐枣汁发酵14 d,静置过滤,然后密闭

陈酿15 d。

1.3.2 固态发酵拐枣酒的制备

1.3.2.1 工艺流程



1.3.2.2 操作要点

1)原料准备:准备去籽去梗洗净的拐枣,破碎后,将拐枣和高粱按1:1.5的质量比称取高粱。

2)双水泡粮:泡粮要使用沸水,先加水后放粮,用水量为没过高粱一个指节的高度。过程中只翻拌高粱1次,由边缘向内部翻拌,这一步主要是为了避免酸的产生。水温变凉后,再次更换为60℃左右的热水泡粮过夜。

3)初蒸:上汽后再加入浸泡后的粮食,加盖初蒸20 min。

4)闷水:初蒸结束后,加入40~50℃的水开始闷粮5~10 min。

5)复蒸:初蒸后的高粱和破碎后的拐枣搅拌混合均匀,再次加盖蒸50 min。

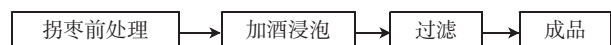
6)摊晾:将蒸煮料进行摊晾至30~35℃,按高粱和拐枣总质量0.5%的用曲量分3次进行拌曲。

7)培菌糖化:放入30℃的培养箱中,糖化24 h。

8)发酵:将糖化效果好的酿酒原料放入发酵罐进行发酵,发酵温度要求为恒温30℃,发酵时间为7 d。

9)蒸馏:使用蒸馏器蒸馏发酵完成的酒醅,取中间质量优的酒液。

1.3.3 拐枣浸泡酒的制备



挑选完好的拐枣洗净、晾干备用,利用实验室自制的小曲酒进行泡制,根据唐兰芳等^[7]的研究,拐枣的用量400 g/L。

1.3.4 拐枣酒理化指标的测定

酒精度、总酸、pH值、可溶性固形物及还原糖测定参照GB/T 15038—2006《葡萄酒、果酒通用分析方法》。

1.3.5 拐枣酒总黄酮及总酚的检测

拐枣酒中总黄酮的测定采用亚硝酸钠-硝酸铝比色法^[8-9],以芦丁为标准品制作标准液。吸取芦丁标准液0、2.00、4.00、6.00、8.00、10.00 mL,分别于50 mL容量瓶以蒸馏水定容,按步骤进行显色反应后,于510 nm处测定吸光值并绘制标准曲线。回归方程为 $y=0.021x$, $R^2=0.9985$ 。

拐枣酒中总酚的测定采用福林酚法^[10-11],以没食子酸为标准品绘制标准曲线。吸取0、0.1、0.2、0.3、0.4、

0.5、0.6、0.7、0.8 mL标准液于10 mL容量瓶,按步骤进行显色反应后,于760 nm处测定吸光值并绘制标准曲线。回归方程 $y=0.0064x-0.0049$, $R^2=0.9991$ 。

1.3.6 体外抗氧化活性测定

DPPH自由基清除能力的测定,参照万景瑞等^[12]、Kusznierewicz等^[13]的方法。样品液制备液态发酵拐枣酒和拐枣浸泡酒均稀释50%,固态发酵拐枣酒未稀释。分别取50 μL样品酒液,再加入4 mL 0.1 mmol/L的DPPH醇溶液,让其与拐枣酒液充分混匀后避光放置30 min,然后在517 nm波长处测定吸光值。

ABTS⁺自由基清除能力测定参照李雪等^[14]、Zhuang等^[15]的方法。样品制备液浓度同上。分别准确量取20 μL的拐枣酒液与5 mL ABTS工作液充分混合均匀,室温条件下避光反应10 min,在734 nm处测定吸光值。

羟自由基清除能力参照Tsai等^[16]的方法,取样品酒液(浓度同上)2 mL,依次加入1 mL 10.0 mmol/L FeSO₄、1 mL 10.0 mmol/L水杨酸乙醇溶液以及1 mL 8.8 mmol/L过氧化氢溶液,振荡摇匀,在37℃水浴中反应30 min,于517 nm处测定吸光值。

1.3.7 还原力

还原力的测定参照常飞等^[17]的方法,样品制备液浓度同上,于700 nm处测定吸光值。

1.3.8 风味物质的检测

采用顶空固相微萃取-气质联用技术(HS-SPME-GC-MS)检测其风味物质。参照蒋鹏飞等^[18]、韦璐等^[19]的方法进行样品处理,取5 mL样品酒液于20 mL顶空瓶中,将老化后的50/30 μm CAR/PDMS/DVB萃取头插入样品瓶顶空部分,于50℃吸附30 min,随后将吸附后的萃取头取出,插入气相色谱进样口,于250℃解吸3 min,同时启动仪器进行GC-MS分析采集数据。

色谱(GC)条件:毛细管色谱柱Agilent HP-5MS(30 m×250 μm,0.25 μm),进样口温度250℃,初始温度40℃,保留2 min,以5℃/min升温到220℃,保留2 min,检测器温度250℃,载气为高纯氦气,流速1.0 mL/min,进样量1 μL,不分流进样。

1.3.9 感官评价

由年龄20~40岁的10位男性和10位女性组成评定小组,对液态发酵拐枣酒、拐枣浸泡酒、固态发酵拐枣酒做出感官评价,感官评分细则如表1所示^[20]。

表1 感官评分细则

Table 1 Detailed rules for sensory scoring

等级	分值	外观	香气	滋味	典型性
优	7~10	透明清亮、无杂质、色泽鲜艳	具有纯正、优雅、愉悦和谐的果香与酒香	酒体醇厚、醇香协调、落口爽净	典型性突出、风格独特、优雅,具有拐枣的清香和爽口的独特风味
良	4~<7	颜色透明、有少量沉淀、有光泽	酒香与果香较淡,香气不怡人	酒体较协调、无邪杂味	有典型性,但不优雅
差	1~<4	酒体浑浊、明显杂质、光泽暗淡	无果香,酒体有异味	酒体单薄、苦涩、有杂味	缺少典型性,风格一般

1.4 数据处理

所有试验重复测定3次;显著性分析方法采用邓肯分析法;用SPSS进行数据分析,Origin 9.5进行绘图。

2 结果与分析

2.1 3种酒理化指标分析

不同拐枣酒理化指标结果见表2。

表2 3种酒理化指标分析

Table 2 Analysis of physical and chemical indexes of the three wines

样品	酒精度/ % vol	可溶性固 形物/%	还原糖/ (g/L)	pH 值	总酸/ (g/L)
液态发酵拐枣酒	10.20±0.07 ^c	7.32±0.25 ^a	1.74±0.05 ^a	4.22±0.03 ^b	4.73±0.02 ^b
拐枣浸泡酒	35.80±0.04 ^b	5.90±0.09 ^b	1.34±0.05 ^b	3.81±0.02 ^c	4.25±0.03 ^b
固态发酵拐枣酒	46.31±0.06 ^a	0.15±0.00 ^c	0.98±0.01 ^c	5.01±0.04 ^a	5.54±0.02 ^a

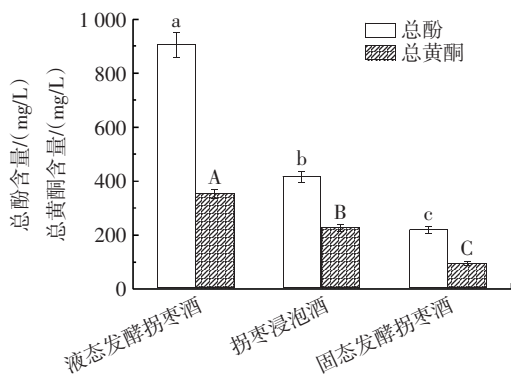
注:同列不同字母表示差异显著, $P<0.05$ 。

由表2可知,3种拐枣酒的酒精度、可溶性固形物、还原糖、pH值均具有显著性差异。液态发酵拐枣酒酒精度低于拐枣浸泡酒和固态发酵拐枣酒,分析其原因是拐枣浸泡酒为蒸馏酒泡制,固态发酵拐枣酒为蒸馏酒。蒸馏酒通过蒸馏后乙醇的浓度增大,导致酒精度高,浸泡酒使用的原酒酒精度为45% vol,高于液态发酵酒。液态发酵拐枣酒的可溶性固形物和还原糖均显著高于拐枣浸泡酒和固态发酵拐枣酒,而总酸是固态发酵拐枣酒>液态发酵拐枣酒>拐枣浸泡酒,分析其原因可能是固态发酵速度较快,产生的酒精和有机酸较高。3种拐枣酒的pH值为固态发酵拐枣酒>液态发酵拐枣酒>拐枣浸泡酒,分析其原因可能是拐枣果实中的有机酸浸提到酒液中,导致拐枣浸泡酒的pH值低于其余两种。

2.2 不同拐枣酒总黄酮及总酚含量测定结果

3种拐枣酒总黄酮含量和总酚含量如图1所示。

由图1可知,总黄酮含量依次为液态发酵拐枣酒(349.52 mg/L)>拐枣浸泡酒(255.00 mg/L)>固态发酵拐枣酒(89.84 mg/L)。总酚含量依次为液态发酵拐枣酒(905.02 mg/L)>拐枣浸泡酒(413.28 mg/L)>固态发酵拐



不同字母表示同一指标差异显著, $P<0.05$ 。

图1 3种拐枣酒多酚及黄酮含量

Fig.1 Content of polyphenols and flavonoids in the three *Hovenia acerba* wines

枣酒(215.34 mg/L)。通过显著性差异分析,3种酒液的总黄酮和总酚含量均差异显著($P<0.05$)。由此可知,在液态发酵拐枣酒中,总酚和总黄酮的含量均最高,拐枣浸泡酒次之,固态发酵拐枣酒最低。这种差异可能与发酵体系、酒体酒精度及发酵过程中发生的生化反应有关^[2]。固态发酵拐枣酒总酚与总黄酮含量低还可能是因为其为蒸馏酒,酚类和黄酮类物质不易被蒸馏到酒体中,且固态发酵拐枣酒在发酵前将拐枣进行了蒸煮,高温会使原料中的黄酮、多酚类物质结构发生变化。

2.3 3种拐枣酒抗氧化活性测定结果分析

2.3.1 3种拐枣酒清除自由基能力

3种拐枣酒的清除自由基结果见表3。

表3 3种拐枣酒自由基清除能力

Table 3 Free radical scavenging abilities of the three *Hovenia acerba* wines

样品	DPPH·清除 率/%	ABTS·清除 率/%	·OH清除率/%
液态发酵拐枣酒	84.21±0.22 ^a	89.28±0.76 ^a	66.53±0.96 ^a
拐枣浸泡酒	80.15±0.84 ^b	83.61±0.65 ^b	45.24±0.09 ^b
固态发酵拐枣酒	55.17±0.12 ^c	47.52±0.39 ^c	23.23±0.50 ^c

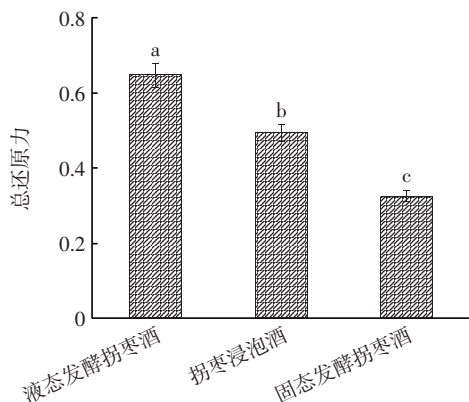
注:同列不同字母表示差异显著, $P<0.05$ 。

由表3可知,3种酒对DPPH·、ABTS·及·OH均具有一定的清除能力,且液态发酵拐枣酒与拐枣浸泡酒对ABTS·和DPPH·清除率均大于80%,自由基清除能力显著强于固态发酵拐枣酒($P<0.05$),自由基清

除能力与3种拐枣酒中总酚及总黄酮含量变化趋势一致。这表明自由基的清除能力与拐枣酒中所含多酚和黄酮类物质等抗氧化活性成分含量呈正相关关系^[8]。

2.3.2 3种拐枣酒总还原力测定结果分析

3种拐枣酒总还原力结果如图2所示。



不同字母表示差异显著, $P < 0.05$ 。

图2 3种拐枣酒总还原力

Fig.2 Total reducing abilities of the the three *Hovenia acerba* wines

由图2可知,总还原力强弱依次为液态发酵拐枣酒>拐枣浸泡酒>固态发酵拐枣酒,这说明拐枣酒总还原力与抗氧化性存在一定的量效关系。此结果与李明月等^[20](酿造的石榴酒的总还原力为0.9)和滕玉鸥等^[21](酿造的蓝莓酒、山楂酒的总还原力为0.55)的试验结果相比,液态发酵拐枣酒(0.63)和拐枣浸泡酒(0.51)的总还原力均较强。固态发酵拐枣酒总还原力低与其酒体中总酚总黄酮含量低相关。

2.4 3种拐枣酒风味成分分析

将3种酒液检测出的风味物质与标准谱库比对,结果如表4所示。

表4 3种酒香气成分的GC-MS分析结果

Table 4 GC-MS analysis results of aroma components of the three wines

分类	化学名称	相对含量/%			香气描述
		液态发酵拐枣酒	拐枣浸泡酒	固态发酵拐枣酒	
醇类	苯乙醇	34.69	18.94	28.61	清甜的玫瑰花香
	苯甲醇	0.14	—	—	甜香、花香
	2,3-丁二醇	2.56	—	2.65	蜜糖香
	正己醇	3.76	1.93	0.85	特殊香味
	丙二醇	—	—	5.36	微甜
	3-甲基丁醇	—	10.38	5.49	青草味
	正戊醇	1.98	—	1.07	柔和的特殊气味
	异戊醇	6.72	30.52	10.85	香蕉香气
	1-辛醇	3.82	2.56	0.28	—
	Σ醇类	53.67	64.33	55.16	
酯类	癸酸乙酯	5.36	4.38	0.66	果香、白兰地香气
	棕榈酸乙酯	0.97	—	—	奶油香

续表4 3种酒香气成分的GC-MS分析结果

Continue table 4 GC-MS analysis results of aroma components of the three wines

分类	化学名称	相对含量/%			香气描述	
		液态发酵拐枣酒	拐枣浸泡酒	固态拐枣发酵酒		
酯类	己酸乙酯	0.24	0.58	2.54	果香	
	辛酸乙酯	3.47	5.02	1.04	果香、白兰地香	
	乙酸乙酯	3.24	1.43	0.49	果香	
	月桂酸乙酯	0.16	—	—	果香、花香	
	乙酸异戊酯	—	0.73	0.22	香蕉和梨的香味	
	庚酸乙酯	—	0.33	—	菠萝香	
	乙酸苯乙酯	1.02	—	1.38	果香、蜜香	
	壬酸乙酯	0.87	—	—	玫瑰香气	
	丁酸乙酯	3.85	2.59	2.78	香蕉、菠萝香	
	乳酸乙酯	—	—	0.52	青草味	
	丁二酸二乙酯	2.62	0.32	1.32	果香、花香	
	苯乙酸乙酯	—	0.19	0.33	果香、药香	
	乙酸戊酯	—	—	1.57	香蕉味	
	十六酸乙酯	0.44	—	—	—	
	戊酸乙酯	—	—	0.58	果味浓郁	
	苯甲酸乙酯	0.45	0.20	0.36	樱桃、葡萄、依兰香气	
	Σ酯类	22.69	15.77	13.79		
	酸类	乙酸	0.45	—	0.42	具有刺激气味
		辛酸	2.54	—	1.35	水果香、花香、油脂臭
		己酸	—	0.35	0.85	汗臭、窖泥臭
癸酸		1.45	0.86	2.23	愉快的脂肪气味	
十六酸		0.47	—	0.19	水果香	
3-甲基丁酸		—	—	0.98	水果香	
Σ酸类		4.91	1.21	6.02		
烃类	十甲基环五硅氧烷	1.06	—	—	—	
	环己硅氧烷	0.85	—	—	—	
	六甲基环三硅氧烷	0.77	0.92	1.20	—	
	十四烷	—	—	0.14	—	
	八甲基环四硅氧烷	0.25	—	0.36	—	
	Σ烃类	2.93	0.92	1.70		
酚类	愈创木酚	0.25	—	—	辛香、药香、木香、花香、青草	
	2,4-丁叔苯酚	0.18	0.49	0.56	青草香、坚果香	
	Σ酚类	0.44	0.49	0.56		
醛类	苯甲醛	1.58	0.36	0.25	坚果香	
	糠醛	0.77	—	1.98	桂皮油香气	
	Σ醛类	2.35	0.36	2.23		
其他类	18-冠醚-6	0.33	—	—		

注:—表示未检出;Σ表示每类香气物质相对含量总和。

由表4可知,3种酒共检出风味物质43种。其中液态发酵拐枣酒的风味物质共32种,酯类化合物12

种,醇类化合物7种,酸类化合物4种,烃类、酚类、醛类及其他类化合物9种。拐枣浸泡酒共20种,其中酯类化合物10种,醇类化合物5种,酸类化合物2种,烃类、酚类、醛类及其他类化合物3种。固态发酵拐枣酒共检出33种,酯类化合物13种,醇类化合物8种,酸类化合物6种,烃类、酚类、醛类及其他类化合物6种。不同拐枣酒主要香气成分类似,但各有特点,从而构成了不同拐枣酒风味的相似性和典型性。酒类的芳香成分大多由醇类、酯类、酸性物质、烃族等化合物组成,这些成分不仅对酒体品质具有重要的作用,也会对酒的感官特性产生很大影响。

2.4.1 醇类成分

醇类物质不仅是酒中醇甜和助香剂的主要物质,也是形成香味物质的前驱物质。醇类物质是拐枣酒香气构成的主体成分。3种酒检出的醇类物质分别有7、5、8种。3种酒中共有的醇类物质有4种,其中苯乙醇、异戊醇的含量均较高,苯乙醇在液态拐枣酒的相对含量为34.69%,在拐枣浸泡酒中的相对含量为18.94%,在固态发酵拐枣酒中为28.61%。异戊醇在拐枣浸泡酒中的相对含量最高30.52%,在液态发酵拐枣酒中为6.72%,在固态发酵拐枣酒中为10.85%。异戊醇具有香蕉香味,在口感上微带辛辣味,苯乙醇带有独特的玫瑰香气、栀子花香,在口感上先苦后甜,两种物质都给酒体带来馥郁怡人的香气,使酒的层次感更加丰富。3种酒中拐枣浸泡酒的醇类相对含量最高,分析其原因可能是浸泡所用原酒的乙醇含量较高。

2.4.2 酯类成分

3种酒中酯类物质相对含量仅次于醇类物质。由表4可知,3种拐枣酒酯类物质的相对含量为液态发酵拐枣酒>拐枣浸泡酒>固态发酵拐枣酒。液态发酵拐枣酒中酯类相对含量前五位依次为癸酸乙酯>丁酸乙酯>辛酸乙酯>乙酸乙酯>丁二酸二乙酯,拐枣浸泡酒中酯类物质前五位依次为辛酸乙酯>癸酸乙酯>丁酸乙酯>乙酸乙酯>乙酸异戊酯,固态发酵拐枣酒中酯类物质前五位依次为丁酸乙酯>己酸乙酯>乙酸戊酯>乙酸苯乙酯>丁二酸二乙酯。这些酯类成分产生了强烈的水果香、花香、白兰地酒香、朗姆酒香等,为酒体主要的香味贡献物^[24]。3种酒总体香气成分大致相同,相对含量有所差别,分析其原因可能是不同类型的拐枣酒发酵所产生的代谢产物不同,不同发酵方式对拐枣中物质的利用有所不同。

2.4.3 酸类成分

酒中的酸类物质大部分是由微生物代谢而产生的副产物,酸对酒体整体口感影响较大,含量少时,酒味寡淡;含量大时,酒味过烈且粗糙。液态发酵拐枣酒中辛酸和癸酸的相对含量较高,分别为2.54%、1.45%,

赋予了拐枣酒丰富的水果香和奶香,对酒体风味具有正向贡献作用。固态发酵拐枣酒中相对含量最高的是癸酸2.23%,其次为辛酸1.35%、3-甲基丁酸0.98%,为酒体贡献了怡人的水果香。拐枣浸泡酒中仅检出较低浓度的癸酸0.86%和己酸0.35%,己酸给人带来不愉快的香气。3种拐枣酒酸相对含量为固态发酵拐枣酒>液态发酵拐枣酒>拐枣浸泡酒,相对含量均不高,能够使酒体协调、平衡。

2.4.4 酚类和醛酮类成分

酚类和醛酮类物质是酒体中香气成分必不可少的部分,对酒体整体香气影响较大^[25]。液态发酵拐枣酒中检测到了少量愈创木酚和2,4-丁叔苯酚,带有淡淡的花香味和青草香,苯甲醛具有杏仁香和坚果香。固态发酵拐枣酒和拐枣浸泡酒中也检测出了少量的2,4-丁叔苯酚,其香味特点对酒体香气的影响较大。3种酒均检测出苯甲醛和糠醛,具有独特的桂皮油香。

2.5 3种酒的感官品评

20位经培训的品酒人员对3种酒液分别在外观、香气、滋味、典型性这4方面进行评价打分,总分为40分。3种酒得分情况如图3所示。

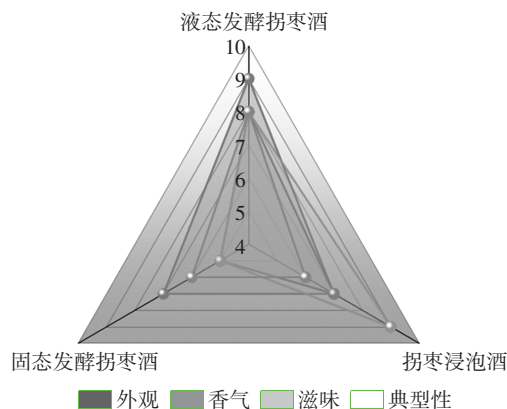


图3 感官品评雷达图

Fig.3 Radar chart of sensory evaluation

由图3可知,液态发酵拐枣酒:外观9分、香气8分、滋味8分、典型性8分;拐枣浸泡酒:外观7分、香气7分、滋味9分、典型性6分;固态发酵拐枣酒:外观7分、香气6分、滋味5分、典型性5分。液态发酵拐枣酒清亮透明,略带棕色,口感醇和,富有拐枣独特的果香。拐枣浸泡酒口感柔和,将拐枣的清甜与酒香融为一体,赋予了酒体丰富的层次感。固态发酵拐枣酒酒体中增加了拐枣的清香,但其酒精度较高,口感不如前两者。

3 结论

以拐枣为原材料,通过液态发酵、浸泡、固态发酵3种工艺进行拐枣酒酿造,并对3种拐枣酒品质进行

对比分析。结果表明:液态发酵拐枣酒总黄酮、总酚的含量均高于拐枣浸泡酒。从抗氧化活性来看,3种酒的清除自由基能力及总还原力大小为液态发酵拐枣酒>拐枣浸泡酒>固态发酵拐枣酒。从香气成分分析,液态发酵拐枣酒与拐枣浸泡酒均具有较高含量的癸酸乙酯、辛酸乙酯、丁酸乙酯等酯类成分,为酒体带来芳香的果香、花香、白兰地酒香。通过20位专业人士的感官品评,液态发酵拐枣酒的评分最高,口感更柔和、爽口、层次分明;拐枣浸泡酒清香醇甜,口感丰富;固态发酵拐枣酒因其酒精度高,在评分上不如另两种酒。综合分析,液态发酵、浸泡、固态发酵均能在一定程度上提升拐枣酒体的品质,增加酒体中的风味物质,使酒体更加柔顺、优雅。但液态发酵能更有效地提取拐枣中的风味活性物质,赋予酒体良好的口感。

参考文献:

- [1] 司武阳,武爱群,林晓华,等.拐枣果醋的发酵工艺研究及其饮料的开发[J].食品工业,2021,42(4):115-118.
SI Wuyang, WU Aiqun, LIN Xiaohua, et al. Fermentation process of *Hovenia dulcis* fruit vinegar and development of its beverage[J]. The Food Industry, 2021, 42(4): 115-118.
- [2] 王婷婷,李华,王华,等.拐枣的功效成分及加工利用[J].中国食物与营养,2018,24(10):20-25.
WANG Tingting, LI Hua, WANG Hua, et al. Research progress on ingredients function of *Hovenia dulcis* and its processing and utilization[J]. Food and Nutrition in China, 2018, 24(10): 20-25.
- [3] 黎继烈.枳椇果酒的酿制工艺[J].食品与发酵工业,2002,28(12):71-73.
LI Jilie. Brewing technology of *Hovenia dulcis* Thunb fruit wine[J]. Food and Fermentation Industries, 2002, 28(12): 71-73.
- [4] 卢倩,吴娜,周剑丽,等.拐枣产品研发开发进展[J].山东化工,2016,45(1):51-53.
LU Qian, WU Na, ZHOU Jianli, et al. Recent development of turn-jujube based products[J]. Shandong Chemical Industry, 2016, 45(1): 51-53.
- [5] 和德文.拐枣蒸馏酒的酿造方法:CN106434111A[P].2017-02-22.
HE Dewen. Method for brewing *Hovenia acerba* distilled liquor: CN106434111A[P]. 2017-02-22.
- [6] 向金环.一种拐枣酒及其制备方法:CN201510273310.5[P].2015-09-09.
XIANG Jinhuan. The invention relates to *Calligonum* wine and a preparation method thereof: CN201510273310.5[P]. 2015-09-09.
- [7] 唐兰芳,王锋,谭兴和,等.两种工艺拐枣酒抗氧化成分及活性比较[J].中国酿造,2021,40(1):44-48.
TANG Lanfang, WANG Feng, TAN Xinghe, et al. Comparison of antioxidant components and activity of *Hovenia acerba* alcoholic beverage made by two technologies[J]. China Brewing, 2021, 40(1): 44-48.
- [8] 金海炎,王丰园,鲁云凤,等.混菌发酵猕猴桃果酒工艺条件优化及抗氧化性研究[J].食品与发酵工业,2022,48(3):177-185.
JIN Haiyan, WANG Fengyuan, LU Yunfeng, et al. Optimization of fermentation conditions for mixed bacteria of kiwifruit wine and its antioxidant activity[J]. Food and Fermentation Industries, 2022, 48(3): 177-185.
- [9] 邹维娜,王微,徐启江,等.香茶子叶片总酚、总黄酮提取及抗氧化性研究[J].食品工业科技,2017,38(2):266-272.
ZOU Weina, WANG Wei, XU Qijiang, et al. Extraction of total phenolics and flavonoids from the leaf of *Ribes odoratum* Wendl. and its antioxidant activity[J]. Science and Technology of Food Industry, 2017, 38(2): 266-272.
- [10] 钮成拓,李正学,范林旭,等.桑葚果酒发酵过程中功能性物质的检测及其变化情况[J].食品与发酵工业,2019,45(3):83-88.
NIU Chengtuo, LI Zhengxue, FAN Linxu, et al. Measurement and changes in bioactive compounds during mulberry wine fermentation[J]. Food and Fermentation Industries, 2019, 45(3): 83-88.
- [11] 王晓杰,黄立新,张彩虹,等.微波辅助提取橄榄苦苷及其抗氧化性能研究[J].食品工业科技,2018,39(7):140-145.
WANG Xiaojie, HUANG Lixin, ZHANG Caihong, et al. Microwave-assisted extraction of oleuropein from olive leaves and its antioxidant properties[J]. Science and Technology of Food Industry, 2018, 39(7): 140-145.
- [12] 万景瑞,蒋鹏飞,史冠莹,等.三种发酵酒活性成分、抗氧化活性及其香气成分对比分析[J].食品工业科技,2020,41(21):253-260,265.
WAN Jingrui, JIANG Pengfei, SHI Guanying, et al. Comparative analysis of active ingredients, antioxidant activity and aromatic components of three kinds of fermented wine[J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(21): 253-260, 265.
- [13] KUSZNIEREWICZ B, PIEKARSKA A, MRUGALSKA B, et al. Phenolic composition and antioxidant properties of Polish blue-berried honeysuckle genotypes by HPLC-DAD-MS, HPLC postcolumn derivatization with ABTS or FC, and TLC with DPPH visualization[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2012, 60(7): 1755-1763.
- [14] 李雪,白新鹏,曹君,等.仙人掌果酒发酵动力学及其抗氧化性[J].食品科学,2017,38(4):87-92.
LI Xue, BAI Xinpeng, CAO Jun, et al. Fermentation kinetics and antioxidant activity of *Cactus* wine[J]. Food Science, 2017, 38(4): 87-92.
- [15] ZHUANG H, TANG N, YUAN Y. Purification and identification of antioxidant peptides from corn gluten meal[J]. Journal of Functional Foods, 2013, 5(4): 1810-1821.
- [16] TSAI S Y, HUANG S J, MAU J L. Antioxidant properties of hot water extracts from *Agrocybe cylindracea*[J]. Food Chemistry, 2006, 98(4): 670-677.
- [17] 常飞,杨雪果,肖士成,等.脱脂羊脑蛋白水解多肽的分离纯化及抗氧化活性[J].食品科学,2016,37(1):33-39.
CHANG Fei, YANG Xueguo, XIAO Shicheng, et al. Purification and antioxidant activity of peptides derived from defatted goat brain protein[J]. Food Science, 2016, 37(1): 33-39.
- [18] 蒋鹏飞,罗强,施宝珠,等.不同酵母发酵葛根酒的抗氧化活性及香气成分分析[J].中国食品学报,2019,19(8):230-239.
JIANG Pengfei, LUO Qiang, SHI Baozhu, et al. Antioxidant activity and aromatic components of the *Pueraria* wines fermented by different yeasts[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2019, 19(8): 230-239.
- [19] 韦璐,杨昌鹏,孙钦菊,等.香蕉果酒低温发酵过程中挥发性香气成分的变化[J].食品工业科技,2020,41(18):231-238.
WEI Lu, YANG Changpeng, SUN Qinju, et al. Changes of volatile flavor substances in fermentation process of banana wine produced by low temperature fermentation[J]. Science and Technology of Food

- 2021, 12: 332–341.
- [16] 许粟,史大娟,刘宇泽,等.响应面法优化刺梨曲奇饼干配方[J].食品工业科技, 2023, 44(14): 200–208.
XU Su, SHI Dajuan, LIU Yuze, et al. Optimization of cili cookie formula by response surface methodology[J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(14): 200–208.
- [17] 彭荣,蔡琼,张杰.制备工艺对红曲发酵豆渣饼干品质的影响[J].粮食与油脂, 2022, 35(12): 109–113.
PENG Rong, CAI Qiong, ZHANG Jie. Effect of preparation technology on the quality of *Monascus* fermented bean residue biscuit[J]. Cereals & Oils, 2022, 35(12): 109–113.
- [18] 王风雷.荷叶粉对面粉理化性质及酥性饼干品质的影响[J].食品与机械, 2022, 38(11): 33–39, 59.
WANG Fenglei. Effects of lotus leaf powder on physicochemical properties of flour and crisp biscuits[J]. Food & Machinery, 2022, 38(11): 33–39, 59.
- [19] 王杰,张莹,杨娟,等.超微茶粉对曲奇饼干品质特性的影响[J].南方农业, 2022, 16(17): 77–80.
WANG Jie, ZHANG Ying, YANG Juan, et al. Effect of superfine grinding tea powder on quality characteristics of cookies[J]. South China Agriculture, 2022, 16(17): 77–80.
- [20] 谭韩英,杨滨榕,高丹,等.响应面法优化马蹄皮粉酥性饼干配方[J].食品研究与开发, 2022, 43(7): 161–166.
TAN Hanying, YANG Binrong, GAO Dan, et al. Optimization of formula of water chestnut peel powder crisp biscuit by response surface methodology[J]. Food Research and Development, 2022, 43(7): 161–166.
- [21] 李扬,陈雅妮.响应面法优化羊奶果代餐饼干的加工工艺[J].食品工业, 2020, 41(6): 185–188.
LI Yang, CHEN Yanni. Response surface test to optimize the processing technology of *Elaeagnus conferta* roxb. meal cookie[J]. The Food Industry, 2020, 41(6): 185–188.
- [22] 徐海祥,李志方,朱倩,等.响应面优化瓜蒌酥性饼干加工工艺[J].食品工业, 2022, 43(10): 55–60.
XU Haixiang, LI Zhifang, ZHU Qian, et al. Optimization of the *Trichosanthes kirilowii* crisp biscuit processing technology by response surface methodology[J]. The Food Industry, 2022, 43(10): 55–60.

加工编辑:张楠
收稿日期:2022–05–06

(上接第14页)

- Industry, 2020, 41(18): 231–238.
- [20] 赵婕,袁倩,张序,等.混合发酵对早酥梨-美乐低醇桃红果酒品质的影响[J].食品与发酵工业, 2022, 48(22): 119–127.
ZHAO Jie, YUAN Qian, ZHANG Xu, et al. Effect of mixed fermentation on the quality of Zaosu pear-Merlot low-alcohol rosefruit wine[J]. Food and Fermentation Industries, 2022, 48(22): 119–127.
- [21] ZHANG Y, CHANG S K C, STRINGER S J, et al. Characterization of titratable acids, phenolic compounds, and antioxidant activities of wines made from eight Mississippi-grown muscadine varieties during fermentation[J]. LWT-Food Science and Technology, 2017, 86: 302–311.
- [22] 李明月,郝雅兰,樊明涛,等.石榴酒酿造过程中的多酚及其抗氧化性[J].天津农业科学, 2014, 20(11): 19–23.
LI Mingyue, HAO Yalan, FAN Mingtao, et al. Polyphenol content and antioxidant properties of pomegranate wine in production process[J]. Tianjin Agricultural Sciences, 2014, 20(11): 19–23.
- [23] 滕玉鸥,曲昕,宋彬彬,等.山楂枣酒抗氧化能力分析评价[J].酿酒科技, 2015(10): 14–16.
TENG Yu'ou, QU Xin, SONG Binbin, et al. Evaluation on the antioxidant capacity of hawthorn-jujube wine[J]. Liquor-Making Science & Technology, 2015(10): 14–16.
- [24] GÓMEZ GARCÍA-CARPINTERO E, SÁNCHEZ-PALOMO E, GONZÁLEZ VIÑAS M A. Volatile composition of Bobal red wines subjected to alcoholic/malolactic fermentation with oak chips[J]. LWT - Food Science and Technology, 2014, 55(2): 586–594.
- [25] 饶炎炎,桑英,唐琳琳,等.红树莓果酒发酵过程中功效成分、香气物质及体外降血糖功效的动态变化[J].食品科学, 2020, 41(6): 222–230.
RAO Yanyan, SANG Ying, TANG Linlin, et al. Dynamic changes in aroma, functional components and hypoglycemic effect *in vitro* of red raspberry wine during fermentation[J]. Food Science, 2020, 41(6): 222–230.

加工编辑:孟琬星
收稿日期:2022–07–22