

# 发酵型桑葚果酒主要成分动态变化规律 及香气成分分析

Analysis of chemical ingredients changes and aroma compounds in  
brewing process of mulberry wine

杨芳<sup>1,2</sup> 刘铁<sup>3</sup> 刘燕<sup>1</sup> 王沙<sup>1</sup> 王丹红<sup>1</sup>

YANG Fang<sup>1,2</sup> LIU Tie<sup>3</sup> LIU Yan<sup>1</sup> WANG Sha<sup>1</sup> WANG Dan-hong<sup>1</sup>

(1. 安康学院现代农学与生物科技学院, 陕西 安康 725000; 2. 陕西省蚕桑重点实验室, 陕西 安康 725000;  
3. 安康学院数学与统计学院, 陕西 安康 725000)

(1. School of Modern Agriculture and Biotechnology, Ankang University, Ankang, Shaanxi 725000, China;  
2. The Key Sericultural Laboratory, Ankang, Shaanxi 725000, China;  
3. School of Mathematics and Statistics, Ankang University, Ankang, Shaanxi 725000, China)

**摘要:**对发酵型桑葚果酒酿造过程中总糖、总酸、总黄酮、乙醇的变化规律以及桑葚果酒香气成分进行研究。发酵型桑葚果酒制作工艺为:发酵温度15.3℃、接种量8.00 g/L、蔗糖加入量12.80 g/100 g,发酵总时间24 d,每3 d取样动态监测桑葚果酒总糖、总酸、总黄酮、乙醇含量变化;气相色谱质谱联用测定发酵型桑葚果酒香气成分。结果表明,桑葚果酒发酵最初9 d总糖的消耗量最大,最后慢慢趋于平缓;在发酵第15~18天时样品的总酸含量介于5~6 g/L,第24天达到6.61 g/L;桑葚果酒发酵最初3 d,乙醇含量快速升高,第15天后再次显著攀升,第18~24天时乙醇含量稳定在14%左右;桑葚果酒总黄酮在发酵过程中逐渐溶出,发酵21 d时达到最大值(417.19 mg/L),而后处于基本稳定状态。第18天桑葚果酒香气成分检测到的醇类物质相对含量占43.5%,酸类物质相对含量占25.0%,酯类物质相对含量占16.1%。第24天桑葚果酒香气成分检测到的醇类物质相对含量占34.5%,酸类物质相对含量占31.1%,酯类物质相对含量占12.7%。从桑葚果酒发酵主要成分动态变化规律来看,在发酵温度为15.3℃,接种量为8.00 g/L,蔗糖加入量为12.80 g/100 g的工艺条件下,发酵总时间可以缩短到18 d。该发酵型桑葚果酒香气成分以醇类和酸类物质为主体,酯类物质含量相对较少。

**关键词:**桑葚;果酒;主要成分;动态变化;香气成分

**Abstract:** To analyse the variation of reducing sugar, total acid, total flavonoids, ethanol content and aroma compounds in brewing process of mulberry wine. The fermentation processes were: fermentation temperature of 15.3℃, inoculation quantity of 8.00 g/L, sucrose content of 12.80 g/100 g, total fermentation time 24 days, and sampling every 3 days to determine reducing sugar, total acid, total flavonoids, and ethanol content of mulberry wine. The aroma components were determined by gas chromatography-mass spectrometry. Results: The reducing sugar in mulberry wine decreased quickly at the first nine days and levelled off. The total acid content were steady between 5~6 g/L during the 15<sup>th</sup> day and the 18<sup>th</sup> day, peaked 6.61 g/L at the 24<sup>th</sup> day of fermentation. The concentration of ethanol increased rapidly at the first three days, and reached to 13.56% at the 18<sup>th</sup> day after quick increasing at the 15<sup>th</sup> day. From the initial fermentation 112.01~274.83 mg/L at the 15<sup>th</sup> day, the total flavonoids was about 274.83 mg/L and reached in steady state after a maximum of 417.19 mg/L at the 21<sup>th</sup> day, and the aroma components of mulberry wine were identified. The relative contents of esters, alcohols, and acids from area normalization method were 43.5%, 25.0%, 16.1%, respectively, at the 18<sup>th</sup> day, as well as 34.5%, 31.1%, 12.7%, respectively, at the 24<sup>th</sup> day. According to the changes of the main ingredients of the wine, the total fermentation time can be shortened to 18 days at fermentation temperature of 15.3℃, inoculation quantity of 8.00 g/L, sucrose content of 12.80 g/100 g. The mulberry wine aroma components in alcohols and acids as the main body, the ester content is relatively less.

**Keywords:** mulberry; wine; chemical ingredients; changes; aroma compounds

**基金项目:**陕西省自然科学基金项目(编号:2015JM3119);陕西省教育厅科技专项(编号:15JS003);安康市科技专项(编号:2016AKZDCY001)

**作者简介:**杨芳(1974—),女,安康学院副教授,硕士。

E-mail: akxyyf@163.com

**收稿日期:**2017-11-12

桑葚营养丰富,具有良好的保健功能。相较于中国丰富

的桑葚资源,目前围绕桑葚开发利用的产品数量、质量还远远不够。桑葚因其果肉多汁、香气幽雅、色素含量高且稳定是酿酒的极佳原料<sup>[1]</sup>。桑葚中黄酮类化合物具有增强毛细血管强度、抗自由基<sup>[2]</sup>、抗病毒<sup>[3-4]</sup>、抗炎、调节血脂、对抗膳食丙烯酰胺引发的细胞毒性等生物学活性<sup>[5]</sup>。果酒中有机酸含量的高低与果酒品质有着密切的关系<sup>[6]</sup>。有机酸具有抑菌、抗病毒、增加冠动脉流量、抑制脑组织脂质过氧化等作用。桑葚中有机酸以柠檬酸为主<sup>[7]</sup>。有机酸同时也是决定果酒口感的重要风味物质。乙醇是影响果酒香味和滋味的重要化学成分。乙醇含量过高,酒香盖住了果香。乙醇含量过低,不仅酒体缺失酒香,也缺少了酒类饮料特有的醇厚纯净。糖类物质是果酒发酵的主要成分,也是果酒中乙醇、有机酸产生的重要来源。果酒中残存的总糖成为衡量果酒品质的重要理化指标之一。

黄正勇等<sup>[8]</sup>的研究指出桑葚果酒发酵过程质量控制的3个要素分别为蔗糖添加量、酵母菌的选择及接种量、发酵温度及时间控制。前期研究利用星点设计—响应面优化的桑葚果酒发酵工艺发酵温度为15.3℃<sup>[9]</sup>,低于文献<sup>[8,10]</sup>报道的推荐温度20℃,酿制的桑葚果酒乙醇含量达14%<sup>[9]</sup>。本试验分析该工艺条件下桑葚果酒发酵过程中总糖、总酸、乙醇、总黄酮的变化规律,同时对该工艺条件下桑葚果酒香气成分进行分析,确定发酵总时间,以为发酵型桑葚果酒的进一步开发提供可靠的理论依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 桑葚及酵母菌

桑葚:大十新鲜桑葚,产自陕西省安康市汉滨区张滩镇;高活性干酵母:安琪酵母股份有限公司。

### 1.2 仪器

气相色谱质谱联用仪:GCMS-QP2010型,日本岛津公司;

气相色谱仪:Agilent 7890A型,配Agilent DB-5气相毛细管色谱柱,美国Agilent公司;

微量冷冻高速离心机:Thermo Legend Micro17R型,美国Thermo公司。

### 1.3 试剂

石油醚、无水硫酸钠、氯化钠、邻苯二甲酸氢钾、冰乙酸:分析纯,天津市天力化学试剂有限公司;

硝酸铝:分析纯,天津市百世化工有限公司;

槲皮素:标准品,国药集团化学试剂有限公司;

无水葡萄糖:标准品,大连美仑生物技术有限公司;

甲醇、乙醇、三氯甲烷:色谱纯,天津益仁达化工有限公司。

### 1.4 方法

1.4.1 发酵工艺 桑葚清洗后沥干,粉碎后全果浆发酵。桑葚果酒发酵工艺条件:发酵温度15.3℃、接种量8.00 g/L、蔗糖加入量12.80 g/100 g。发酵总时间为24 d。每3 d测1次,平行测3次,取平均值。

1.4.2 总糖含量的测定 采用3,5-二硝基水杨酸法(DNS法)<sup>[11]</sup>。

1.4.3 总酸含量的测定 用邻苯二甲酸氢钾作基准物质标定NaOH溶液。发酵型桑葚果酒12 000 r/min离心10 min后,移取上清液2 mL至离心管。用NaOH标准溶液进行滴定,利用pH计来调节终点电位与预控电位。滴定终点电位是8.3<sup>[12]</sup>。记录此时消耗的氢氧化钠的体积。按式(1)计算发酵型桑葚果酒总酸含量。

$$s = \frac{c \times k \times v_1}{v_2}, \quad (1)$$

式中:

$s$ ——总酸含量,g/L;

$c$ ——NaOH标准溶液浓度,g/mL;

$k$ ——柠檬酸系数<sup>[13]104</sup>;

$v_1$ ——NaOH标准溶液消耗体积,mL;

$v_2$ ——发酵型桑葚果酒上清液取样体积,L。

1.4.4 总黄酮的测定 采用聚酰胺吸附—硝酸铝显色法<sup>[13]105</sup>,以槲皮素为标准品<sup>[14]</sup>绘制标准曲线。

1.4.5 乙醇含量的测定 采用气相色谱法<sup>[15]</sup>。GC条件:DB-5气相毛细管色谱柱(30 m×320 μm,0.25 μm);进样口温度220℃;分流进样,分流比为20:1;程序升温,40℃保持4 min,然后以3.5℃/min升至50℃,再以25℃/min升至200℃;检测器FID,检测器温度220℃,氢气流量30 mL/min,空气流量400 mL/min,尾吹流量11.5 mL/min;恒流模式,流速0.5 mL/min。

制作标准曲线:精密量取乙醇标准品稀释,使浓度分别成为0.02,0.05,0.10,0.20,0.30 mL/100 mL的系列对照品溶液,进样量1 μL,测定峰面积,按内标法以峰面积计算。

每个果酒样品取200 μL,用纯水稀释至10 mL后过滤上样,进样量1 μL。故计算时的稀释体积为50倍,每个样品处理2次分别进单针得到结果。

1.4.6 香气成分的检测 参考文献<sup>[13]128-129</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 葡萄糖含量的测定线性关系

葡萄糖标准液的浓度为1 mg/mL,以标准液的浓度0.000,0.008,0.016,0.024,0.032,0.04,0.048 mg/mL为横坐标,以其对应的吸光值(OD值)为纵坐标,绘制标准曲线,得直线回归方程为 $Y=14.179X-0.0007$ ( $R^2=0.9944$ ),表明在浓度范围内线性关系良好。

### 2.2 乙醇的测定线性关系考察

精密量取乙醇溶液,并进行稀释,使浓度分别成为0.02,0.05,0.10,0.20,0.30 mL/100 mL的系列对照品溶液,进样,测定。以乙醇体积百分比( $X$ )对峰面积积分值( $Y$ )进行线性回归,得回归方程 $y=2669.8192770x+1.4042169$ , $R^2=0.9999781$ 。乙醇标准品气相色谱图、桑葚果酒色谱图分别见图1、2。

### 2.3 槲皮素的测定线性关系考察

槲皮素标准品浓度为424.0 μg/mL,以标准品的浓度(0.00,8.48,16.96,25.44,33.92,42.40,50.88,59.36 mg/L)为横坐标,以其对应的吸光值为纵坐标,绘制标准曲线,得回归

方程为  $Y=0.0072X-0.0023(R^2=0.9997)$ , 表明在浓度范围内(8.48~59.36 mg/L)线性关系良好。

#### 2.4 桑葚果酒发酵过程中总糖、总酸、乙醇、总黄酮动态测定

桑葚果酒发酵过程中总糖、总酸、乙醇、总黄酮动态测定结果见图 3。

由图 3 看出, 发酵过程中总糖含量处于先迅速下降后趋

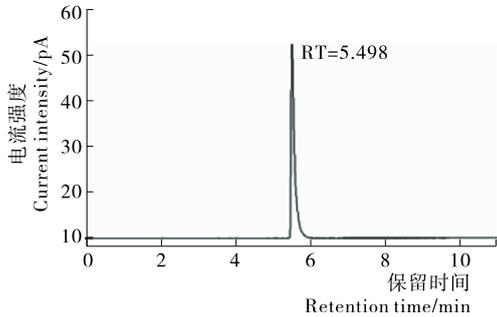


图 1 乙醇标品色谱图

Figure 1 The chromatograms of ethanol standard

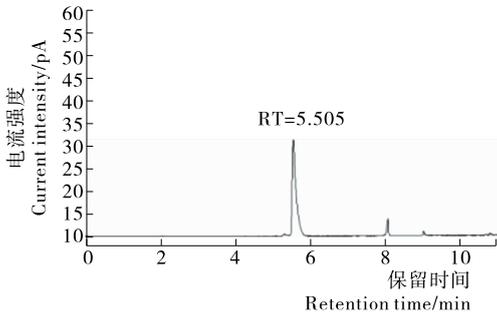
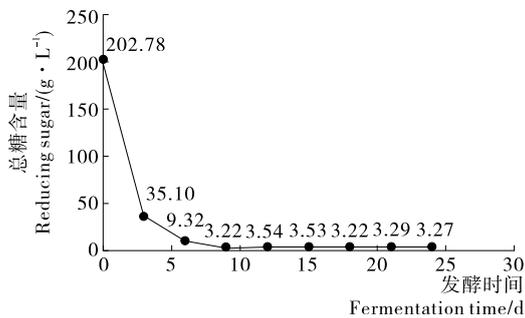
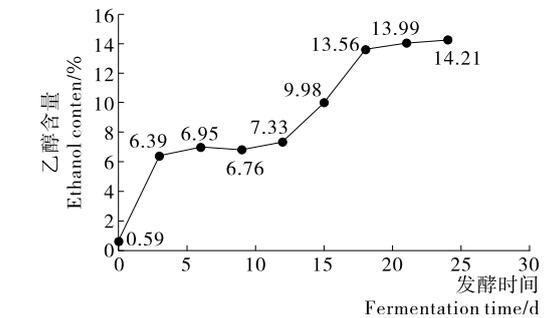


图 2 桑葚果酒色谱图

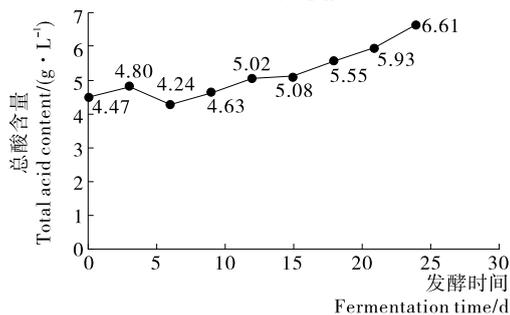
Figure 2 The chromatograms of mulberry wine



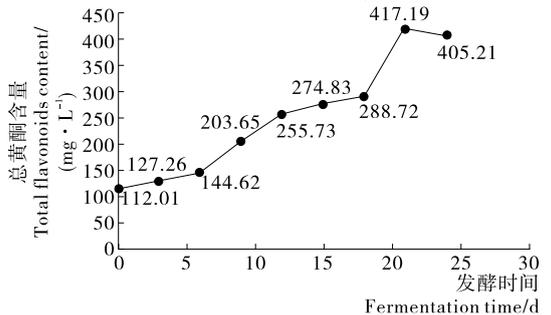
(a) 总糖



(b) 乙醇



(c) 总酸



(d) 总黄酮

图 3 桑葚果酒发酵过程中总糖、总酸、乙醇、总黄酮含量变化

Figure 3 The change of reducing sugar, total acid, ethanol content, and total flavonoids during the fermentation of mulberry wine ( $n=3$ )

于平缓的过程。发酵最初 9 d 糖的消耗量最大, 最后慢慢趋于平缓。桑葚果酒发酵过程中, 总酸含量变化呈现上升趋势, 达到最大值后趋于相对稳定。在发酵第 15~18 天时样品的总酸含量介于 5~6 g/L, 第 24 天达到 6.61 g/L。桑葚果酒总黄酮从发酵第 15 天的 274.83 mg/L 增长到发酵第 21 天的最大值(417.19 mg/L)。

2.4.1 总糖含量的变化 桑葚果浆中总糖是酿酒酵母菌生长所需的碳源。总糖的消耗量间接反映酿造过程酵母菌生长速度的变化历程。在桑葚果酒发酵最初阶段, 酵母菌活性较好, 大量消耗了试验中加入的蔗糖和桑葚本身所含的糖分。随着时间的推移, 酵母菌活性不断下降, 酵解速度趋于平缓, 直至发酵完全。研究<sup>[16]38-39</sup>报道桑葚果酒发酵初始糖浓度会影响菌种对数生长期的出现时间。在桑葚汁初始糖浓度为 180~280 g/L 时, 随桑葚果酒发酵初始糖浓度的增加, 酵母菌对数生长期的出现时间会推迟。高浓度的初糖会阻遏乙醇脱氢酶产生, 对果酒发酵有抑制作用, 同时导致高渗透压, 不利于酵母菌的生长。初糖浓度为 180 g/L 时桑葚汁酿造过程中酿酒酵母对数成长期在发酵第 3 天。本款桑葚果酒酿造初始糖浓度为 202.78 g/L, 发酵第 3 天降至 35.10 g/L, 表现出发酵第 7 天果酒总糖消耗最大。文献[6]报道桑葚果酒发酵第 9 天, 桑葚果酒中的还原糖含量降低至原来的 5%, 降至发酵最低水平。

温度是发酵工艺控制的重要参数。桑葚果酒发酵温度多推荐在 20 °C 左右<sup>[8,10]</sup>。酵母菌的接种量也是决定酵母菌是否能快速成为发酵优势菌的关键因素。接种量过少会导致发酵过程缓慢, 酿造周期偏长; 接种量过多会导致发酵过程过于迅速, 不容易积累目标代谢产物。研究<sup>[17]</sup>报道最适的酵母接种量为 5.00~7.00 g/L。本次发酵工艺参数中发酵

温度 15.3 °C、接种量 8.00 g/L、蔗糖加入量 12.80 g/100 g。在此工艺条件下,发酵 1 周后桑葚果酒总糖含量降低明显,最终桑葚果酒中残糖为(3.27±0.006) g/L。

**2.4.2 乙醇含量的变化** 从发酵开始到第 3 天,乙醇浓度快速升高。果酒发酵至第 15 天乙醇含量迅速升高,于第 18 天达到新的平台值。在本款桑葚果酒发酵工艺条件下,乙醇的动态变化曲线呈现“S”型的特点。这可能与 15.3 °C 发酵温度,低于酿酒酵母菌生长的最适温度 20 °C,导致最初发酵速度缓慢有关。在果酒发酵过程中,乙醇的大量积累会严重影响酵母细胞的生长,通过影响细胞形态、生理活动以及酶活性对酵母细胞产生胁迫。本款桑葚果酒酿造工艺由于最初发酵速度缓慢,乙醇浓度尚未对酵母菌的生长、发酵产生明显的反馈抑制,在发酵第 18~24 天乙醇含量稳定在 14% 左右。

**2.4.3 总酸含量的变化** 经离子排斥色谱法测定,桑葚原汁中酸的存在形式包括苹果酸、酒石酸、草酸、琥珀酸、柠檬酸、乙酸、甲酸 7 种有机酸以及 2 种无机酸根 Cl<sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>[17]。从发酵开始,酵母菌利用桑葚中糖以及加入的蔗糖进行发酵,总酸含量逐渐上升。随着发酵的进行,酵母菌活性逐渐下降以及糖含量逐渐下降致使有机酸的合成减少,有机酸和酒糟、丹宁、色素等物质的结合,使得果酒中的总酸在一定时间内上升速度减缓。本试验中,发酵第 21 天和第 24 天总酸含量有所升高,可能是酒体中增加的部分乙醇转变为乙酸。

**2.4.4 总黄酮含量的变化** 发酵过程中,桑葚果实中的黄酮逐渐释放,在微生物作用下大部分黄酮苷被降解为苷元,并溶于果酒中。

**2.5 发酵型桑葚果酒的香气成分分析**

桑葚果酒 GC-MS 所得到的总离子流图见图 4、5。图中峰形、离子丰度和分离度均较好,满足分析的要求。将分离得到的单组份色谱峰对应的质谱图与 NIST11 谱库中质谱图进行检索匹配,分离得到的所有组分对应质谱检索相似度匹配率均>80%,鉴定结果列于表 1、2 中。

发酵第 18 天桑葚果酒香气成分检测到的醇类物质有 10 种,相对含量占 43.5%;酸类物质有 9 种,相对含量占 25.0%;酯类物质有 8 种,相对含量占 16.1%;醛酮类物质相对含量占 13.8%;3-烯丙基-6-甲氧基苯酚相对含量占 1.6%。发酵

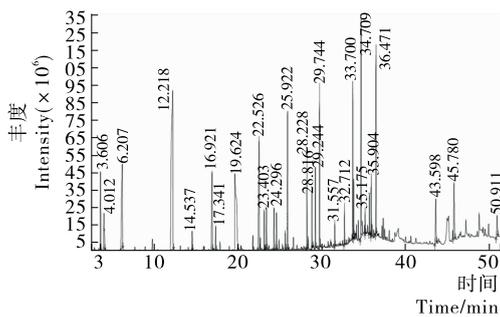


图 4 桑葚果酒发酵第 18 天香气成分 GC-MS 总离子流色谱图

Figure 4 GC-MS total ion chromatogram of aroma components of mulberry wine at 18<sup>th</sup> day

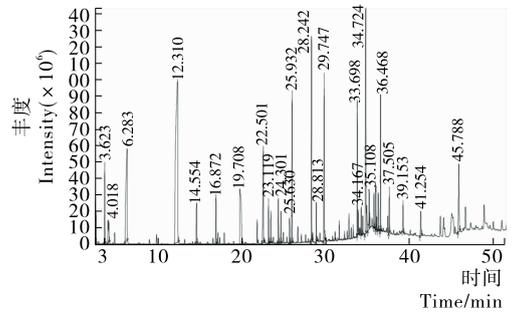


图 5 桑葚果酒发酵第 24 天香气成分 GC-MS 总离子流色谱图

Figure 5 GC-MS total ion chromatogram of aroma components of mulberry wine at 24<sup>th</sup> day

第 24 天桑葚果酒香气成分检测到的醇类物质有 7 种,相对含量占 34.5%;酸类物质有 9 种,相对含量占 31.1%;酯类物质有 6 种,相对含量占 12.7%;醛酮类物质相对含量占 8.1%;高丝氨酸相对含量占 7.7%;烷类物质相对含量占 5.8%。其中有因具备愉快气味成为酯类香料的物质,如丁二酸二乙酯;呈椰子和鸢尾似香气和甜蜂蜡似风味的十四酸乙酯;呈微弱蜡香、果爵和奶油香气十六酸乙酯;呈鲜花香气的十八烯酸乙酯;略呈蜡香的十八酸乙酯。可以被用作食用香料的酸类物质如 2-甲基丁酸、丁酸、己酸、苯甲酸、棕榈酸。3-羟基-2-丁酮被高倍数稀释后会产生香甜的奶香气,在酒类调香中占有重要地位。甘油醛是酵母菌糖酵解过程产生的中间代谢物,有一定的甜味,作为风味物质。莽草酸既可以作为保香物质,还具备一定药用活性。该物质通过影响花生四烯酸代谢,发挥抑制血小板聚集作用,从而抑制动、静脉血栓形成。亚油酸乙酯和亚油酸,尤其是亚油酸乙酯,均具备降低胆固醇和血脂的作用,对动脉粥样硬化症有预防保健作用。未检测到酒香酵母菌产生的具有马厩味的 4-乙基苯酚,脂肪臭味的异戊酸等影响果酒香气的成分。

比较第 18 天和第 24 天果酒香气成分,均以醇类和酸类构成香气成分的主体,其中酯类含量相对较少。第 24 天果酒香气成分相较于第 18 天,醇类物质相对含量降低,酸类物质相对含量增高,酯类物质相对含量降低。发酵第 18 天果酒中含有正己醇和异丁醇 2 种高级醇,相对含量较少,可以赋予发酵型桑葚果酒芳香气味,提供丰富饱满的口感。北京、河北、云南不同产地桑葚酿造的果酒香气成分分析报道中,不同产地的桑葚果酒香气成分醇、酸、酯之间的比例差异较大[18]。本次发酵工艺条件下,桑葚果酒香气成分醇、酸、酯之间的比例与文献[18]报道的河北产地桑葚果酒比较接近。气相色谱-质谱联用技术因其所具有的强大富集、分离和定性能力成为桑葚果酒香气成分鉴定领域最有效的分析手段。目前,样品前处理方法主要选用溶剂萃取法和顶空固相微萃取法。在检索到的桑葚果酒香气成分文献中,桑葚果酒香气成分差异较大。桑葚原材料、酵母菌种、发酵工艺、陈酿时间等因素的不同均会导致桑葚果酒香气成分的检测结果出现差异。一方面是参与贡献桑葚果酒香气的醇类、醛酮类、酯类、酸类、苯环及酚类、烷类各自所占百分比不同。另外,每

表 1 桑葚果酒发酵第 18 天香气成分分析

Table 1 Analysis of aroma components of mulberry wine at the 18<sup>th</sup> day

峰号	化合物名称	保留时间/min	相对含量/%
1	三氯甲烷(溶剂)	3.606	2.81
2	1,3-戊二醇	4.012	4.07
3	1-异丁醇	6.207	6.06
4	4-(叔丁氧羰氨基)-1-丁醇	12.218	9.65
5	3-羟基-2-丁酮	14.537	2.47
6	3-乙氧基-1,2-丙二醇	16.921	4.22
7	正己醇	17.341	2.12
8	甘油醛	19.624	10.95
9	2-乙基-1,3-己二醇	22.526	4.70
10	2-甲基-异丁酸	23.130	2.21
11	2,3-丁二醇	23.403	2.82
12	4-羟基丁酸乙酰酯	24.296	2.75
13	丁酸	24.597	2.31
14	2-甲基丁酸	25.630	2.69
15	丁二酸二乙酯	25.922	2.54
16	莽草酸	28.228	1.65
17	己酸	28.816	1.66
18	苯甲醇	29.244	1.78
19	3-甲基苄醇	29.744	2.47
20	十四酸乙酯	31.557	1.85
21	3-烯丙基-6-甲氧基苯酚	32.712	1.54
22	十六酸乙酯	33.700	1.52
23	3-(4-甲氧基苯基)丙酸甲酯	33.811	1.46
24	甲基丙二酸	34.709	3.73
25	苯甲酸	35.175	1.75
26	十八酸乙酯	35.683	1.74
27	油酸乙酯	35.904	1.82
28	亚油酸乙酯	36.471	1.92
29	棕榈酸	43.598	4.14
30	2-(3-羟基苯基)乙醇	45.780	4.41
31	亚油酸	50.911	4.17

表 2 桑葚果酒发酵第 24 天香气成分分析

Table 2 Analysis of aroma components of mulberry wine at the 24<sup>th</sup> day

峰号	化合物名称	保留时间/min	相对含量/%
1	2,3-丁二酮	2.574	2.04
2	三氯甲烷(溶剂)	3.623	2.65
3	1,3-戊二醇	4.018	5.24
4	DL-高丝氨酸	6.283	7.53
5	4-(叔丁氧羰氨基)-1-丁醇	12.310	12.33
6	3-羟基-2-丁酮	14.554	3.09
7	3-乙氧基-1,2-丙二醇	16.872	2.81
8	乙酸	19.708	8.88
9	2-乙基-1,3-己二醇	22.501	3.70
10	2-甲基-异丁酸	23.119	2.23
11	2,3-丁二醇	23.395	2.56
12	4-羟基丁酸乙酰酯	24.301	2.66
13	丁酸	24.594	2.16
14	2-甲基丁酸	25.63	2.72
15	丁二酸二乙酯	25.932	2.83
16	莽草酸	28.242	1.99
17	己酸	28.813	1.46
18	3-甲基苄醇	29.747	2.64
19	十六酸乙酯	33.698	1.56
20	正二十四烷	34.167	1.49
21	甲基丙二酸	34.724	4.76
22	苯甲酸	35.108	2.45
23	十八酸乙酯	35.685	1.64
24	油酸乙酯	35.903	1.79
25	二十五烷	36.191	1.88
26	亚油酸乙酯	36.468	1.86
27	正三十六烷	37.505	2.27
28	$\beta$ -二氢紫罗兰酮	39.153	2.73
29	棕榈酸	41.254	3.70
30	2-(3-羟基苯基)乙醇	45.788	4.32

款果酒的主要香气成分组成也存在差异,除苯乙醇、辛酸乙酯、癸酸乙酯、丁二酸二乙酯外,其他组分各不相同。在检索到的桑葚果酒香气成分文献中<sup>[13]126-128[18-19]</sup>,被重复检测到的醇类物质包括 2-甲基-1-丁醇、2-甲基-1-丙醇、苯乙醇、苯甲醇、己醇、壬醇、2,3-丁二醇;被重复检测到的酸类物质包括己酸、乙酸、2-甲基丁酸、癸酸、油酸;被重复检测到的酯类物质包括乙酸乙酯、丁二酸二乙酯、十六酸乙酯、十四酸乙酯、棕榈酸乙酯、癸酸乙酯、亚油酸乙酯、辛酸乙酯。对照桑葚汁香气成分<sup>[13]122-124[18-20]</sup>,同时在桑葚果汁和桑葚果酒中被重复检测到的醇类物质包括苯乙醇、己醇;被重复检测到的酸类物质包括己酸、乙酸、丁酸、亚油酸、棕榈酸;被重复检测到的酯类物质包括乙酸乙酯、十六酸乙酯、十四酸乙酯、癸酸乙

酯、亚油酸乙酯、辛酸乙酯。

关于酒体香气成分中乙醇的检出,不同的文献<sup>[19,21-22]</sup>报道结果有差异,文献<sup>[19]</sup>检测出桑葚果酒中的乙醇,其他均未报道。这可能与样品的前处理方法以及和质谱检测的动态范围有关,含量达不到或者超过检测范围均不被检测到。

### 3 结论

从桑葚果酒发酵主要成分动态变化规律来看,在发酵温度 15.3 ℃、接种量 8.00 g/L、蔗糖加入量 12.80 g/100 g 的工艺条件下,发酵总时间可以缩短到 18 d,果酒中残存的总糖、总酸、乙醇含量均在较佳范围,但总黄酮处于上升期,尚未到达最大值。本款发酵型桑葚果酒醇类和酸类构成香气成分的主体,其中酯类含量相对较少,赋予了本款发酵型桑葚果酒主要香气特征。

## 参考文献

- [1] 李冬香, 陈清西. 桑葚功能成份及其开发利用研究进展[J]. 中国农学通报, 2009, 25(24): 293-297.
- [2] CHAUDHARY A, PECHAN T, WILLETT K L. Differential protein expression of peroxiredoxin I and II by benzo(a)pyrene and quercetin treatment in 22Rv1 and PrEC prostate cell lines[J]. Toxicol Appl Pharmacol, 2007, 220(2): 197-210.
- [3] COELHO-DOS-REIS J G, GOMES O A, BORTOLINI D E, et al. Evaluation of the effects of Quercetin and Kaempferol on the surface of MT-2 cells visualized by atomic force microscopy[J]. J Virol Methods, 2011, 174(2): 47-52.
- [4] GRAVINA H D, TAFURI N F, SILVA JÚNIOR A, et al. In vitro assessment of the antiviral potential of trans-cinnamic acid, quercetin and morin against equid herpesvirus 1[J]. Res Vet Sci, 2011, 91(3): 158-162.
- [5] ZHANG Lin-xia, XU Yang, LI Yu-ting, et al. Protective property of mulberry digest against oxidative stress-A potential approach to ameliorate dietary acrylamide-induced cytotoxicity[J]. Food Chem, 2017, 230: 306-315.
- [6] 商敬敏, 牟京霞, 孟庆山, 等. 桑椹酒发酵过程中有机酸含量的变化[J]. 食品工业科技, 2012, 33(4): 241-242, 247.
- [7] 沈颖, 刘晓艳, 白卫东, 等. 果酒中有机酸及其对果酒作用的研究[J]. 中国酿造, 2012, 31(2): 29-32.
- [8] 黄正勇, 梁贵秋, 黎书明, 等. 桑葚果酒酿造质量控制的研究[J]. 广西蚕业, 2013, 50(2): 53-58.
- [9] 杨芳, 王中兴, 王克刚, 等. 星点设计-响应面法优化桑葚果酒发酵工艺[J]. 酿酒科技, 2017(12): 21-26.
- [10] 曾霞, 陆燕, 曹建平, 等. 桑葚酒发酵工艺优化及其主要香气成分分析[J]. 酿酒科技, 2016(1): 120-124.
- [11] 涂绍勇, 杨爱华, 梅双喜, 等. 3, 5-二硝基水杨酸法(DNS)测定壳聚糖酶活力的探讨[J]. 食品科技, 2012, 37(1): 240-242, 245.
- [12] 童晓滨, 安红纲. 关于强碱弱酸滴定终点与指示剂的选择及滴定顺序[J]. 河西学院学报, 1989(1): 131-137.
- [13] 陈娟. 发酵型蜂蜜桑椹酒的酿造技术及品质特征研究[D]. 重庆: 西南大学, 2009.
- [14] 杨芳. 富硒桑葚果酒芦丁和槲皮素含量的分析[J]. 湖北农业科学, 2012, 51(17): 3 842-3 845.
- [15] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典: 四部[M]. 2015年版. 北京: 中国医药科技出版社, 2015: 89.
- [16] 王琳. 桑椹酒酿造工艺的研究[D]. 咸阳: 西北农林科技大学, 2003.
- [17] 陈智毅, 陈卫东, 徐玉娟, 等. 离子排斥色谱法测定桑椹原汁有机酸的研究[J]. 食品科学, 2007, 28(3): 296-298.
- [18] 刘玮, 金田茜, 康钰莹, 等. 不同产地桑葚酿造的果酒香气成分分析[J]. 食品与发酵科技, 2015, 51(4): 64-68.
- [19] 刘玮, 陈亮, 吴志明, 等. 不同酵母发酵的桑葚果酒香气成分的分析[J]. 食品研究与开发, 2013, 34(24): 212-217.
- [20] 吴琼, 冯卫敏, 蒋和体. 不同杀菌方式对桑葚原汁品质的影响[J]. 食品科学, 2016, 37(9): 144-149.
- [21] 李贺贺, 胡萧梅, 李安军, 等. 采用顶空固相微萃取和搅拌棒吸附萃取技术分析古井贡酒中香气成分[J]. 食品科学, 2017, 38(4): 155-164.
- [22] 周庆云, 范文来, 徐岩. 景芝芝麻香型白酒重要挥发性香气成分研究[J]. 食品工业科技, 2015, 36(16): 62-67.

(上接第14页)

线一致,进一步说明了参数估计的准确性;对包括皖稻121在内的4种粮食进行热物性测算,结果与相关文献吻合,能够满足实际应用要求。

## 参考文献

- [1] 张德欣, 杨庆询, 刘艳芳. 黄淮流域高水分玉米就仓干燥技术优化研究[J]. 食品与机械, 2017, 33(3): 134-138, 144.
- [2] 施灿璨, 周福君, 夏吉庆, 等. 自然冷资源低温储藏仓设计与稻谷储藏试验[J]. 农业机械学报, 2017, 48(11): 375-382.
- [3] 尹君, 吴子丹, 张忠杰, 等. 不同仓型的粮堆温度场重现及对比分析[J]. 农业工程学报, 2015, 31(2): 281-287.
- [4] KIBAR Hakan. Determining the functional characteristics of wheat and corn grains depending on storage time and temperature [J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2016(4): 749-759.
- [5] AERLICHMAN V N, FATYCHOV J A, KUKELKA L, et al. Thermal conductivity of food products [J]. Acta Agrophysica, 2014(11): 61-64.
- [6] 于帆, 张欣欣, 何小瓦. 材料热物理性能非稳态测量方法综述[J]. 宇航计测技术, 2006(4): 23-30.
- [7] 谷和平, 肖人卓. 颗粒状物料热物性的快速测定[J]. 南京工业大学学报: 自科版, 1994, 16(4): 24-29.
- [8] 龚红菊, 孙远见. 稻谷的导热系数测定方法研究[J]. 云南农业大学学报, 2006(3): 383-386.
- [9] 秦汝祥, 张国枢, 陈清华, 等. 基于非稳态导热乘积法的松散煤体导热系数测温系统的设计[J]. 工矿自动化, 2008(5): 9-13.
- [10] 岳高伟, 李豪君, 王兆丰, 等. 松散煤体导热系数的温度及粒度效应[J]. 中国安全生产科学技术, 2015(2): 17-22.
- [11] 肖建庄, 王平, 朱伯龙. 我国钢筋混凝土材料抗火性能研究回顾与分析[J]. 建筑材料学报, 2003, 6(2): 182-189.
- [12] 杨海天, 胡国俊. 基于二阶敏度的共轭梯度法求解多宗量稳态传热反问题[J]. 应用基础与工程科学学报, 2002, 21(2): 20-26.
- [13] HONG Jiang, PAUL Wilford. A stochastic conjugate gradient method for the approximation of functions [J]. Journal of Computational and Applied Mathematics, 2012(9): 2 529-2 544.
- [14] 乐凯, 张欣欣, 于帆. 基于三点法的柱状生物组织热特性参数估计[J]. 工程热物理学报, 2005, 26(5): 838-840.
- [15] 杨世铭, 陶文铨. 传热学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006: 133-140.
- [16] 程龙, 曹阳, 李光涛, 等. 圆球导热法测定粮食导热系数研究[J]. 中国粮油学报, 2009, 24(10): 89-93.
- [17] 龚红菊. 稻谷物性参数的实验测定[D]. 南京: 南京农业大学, 2004: 55-56.
- [18] 朱培民, 王家映. 共轭梯度法[J]. 工程地球物理学报, 2008, 5(4): 381-386.