

不同品种柿子酿造果酒的品质对比研究

岳元春^{1*}, 高欣德^{2*}, 李淑荣¹, 柳青¹, 田文静¹, 黄广学¹, 马长路^{1#}, 焦扬^{2#}

¹北京农业职业学院食品与生物工程学院, 北京

²河西学院生命科学与工程学院, 甘肃 张掖

收稿日期: 2025年5月21日; 录用日期: 2025年6月30日; 发布日期: 2025年7月8日

摘要

本研究以磨盘柿、大尖柿和珠蜜柿为原料, 采用相同工艺酿造柿子酒, 并对其感官品质、理化指标及香气成分进行全面分析。通过顶空固相微萃取-气相色谱-质谱联用技术(HS-SPME-GC-MS)检测香气组分, 综合评价不同品种柿子酒的品质。结果显示, 珠蜜柿柿子酒在感官评价中得分最高(85分), 其香气成分种类最多(53种), 酯类物质种类达22种, 相对含量为20.37%, 但酒精含量(10.5%)和透光率(70.8%)相对较低; 大尖柿柿子酒感官评价得分为82.6分, 香气成分种类为46种, 酒精含量为11%, 透光率为83.1%; 磨盘柿柿子酒感官评价得分为80分, 香气成分种类最少(42种), 但酒精含量(12.4%)和透光率(98.6%)最高。综合分析表明, 珠蜜柿更适合用于酿造柿子酒。本研究为柿子酒的原料选择及品质提升提供了科学依据。

关键词

柿子酒, 品质, 感官评价, 气相色谱-质谱法(GC-MS), 香气成分

Comparison Study on the Quality of Fruit Wine Produced from Various Persimmon Varieties

Yuan Chun Yue^{1*}, Xin De Gao^{2*}, Shu Rong Li¹, Qing Liu¹, Wen Jing Tian¹, Guang Xue Huang¹, Chang Lu Ma^{1#}, Yang Jiao^{2#}

¹College of Food and Bioengineering, Beijing Vocational College of Agriculture, Beijing

²College of Life Sciences and Engineering, Hexi University, Zhangye Gansu

Received: May 21st, 2025; accepted: Jun. 30th, 2025; published: Jul. 8th, 2025

*共同第一作者。

#通讯作者。

文章引用: 岳元春, 高欣德, 李淑荣, 柳青, 田文静, 黄广学, 马长路, 焦扬. 不同品种柿子酿造果酒的品质对比研究[J]. 食品与营养科学, 2025, 14(4): 504-518. DOI: 10.12677/hjfn.2025.144056

Abstract

This study used three types of persimmons—Millstone persimmon, Big-tip persimmon, and Bead-honey persimmon—as raw materials to brew persimmon wine through an identical process. A comprehensive analysis was conducted on the sensory quality, physicochemical properties, and aroma components of the resulting wines. The aroma components were detected using headspace solid-phase microextraction coupled with gas chromatography-mass spectrometry (HS-SPME-GC-MS), and the quality of persimmon wines from different varieties was evaluated. The results indicated that Bead-honey persimmon wine achieved the highest sensory evaluation score (85 points) and possessed the greatest variety of aroma components (53 types), including 22 types of esters with a relative content of 20.37%. However, it had the lowest alcohol content (10.5%) and light transmittance (70.8%). Big-tip persimmon wine scored 82.6 in sensory evaluation, with 46 types of aroma components, an alcohol content of 11%, and a light transmittance of 83.1%. Millstone persimmon wine had the fewest types of aroma components (42 types) but the highest alcohol content (12.4%) and light transmittance (98.6%). The comprehensive analysis revealed that Bead-honey persimmon is the most suitable variety for persimmon wine production. This study provides a scientific basis for the selection of raw materials and the improvement of quality in persimmon wine production.

Keywords

Persimmon Wine, Quality, Sensory Evaluation, Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS), Aroma Component

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

柿(*Diospyros kaki* Thunb)为柿树科(*Ebenaceae*)柿属(*Diospyros*)植物,是柿属植物中果树利用的代表种[1]。我国柿子具有种植面积广、产量高等特点,然而柿子鲜食消费市场有限。成熟后的柿子如果不及时采摘加工,容易出现柿子软化、腐烂,造成极大的经济损失[2]。国家统计局最新数据显示,自1990年以来,我国柿子产量逐年上升[3]。

我国柿子资源优势明显,且品种呈逐年递增的趋势。柿子品种繁多,根据全国柿资源调查统计,我国柿品种有1058种,其中多数为我国的特有品种[4]。然而作为柿子生产超级大国,现有的加工技术无法将优越的柿资源优势转变为巨大的经济优势。在国外,柿子酒饮料、柿子粉、柿子香皂、柿子单宁沐浴液等产品,受到越来越多的关注[5]。而在我国,现有柿果果品加工程度低,柿子加工以传统的柿饼为主[6]。

果酒由于具有较高的营养价值及多种保健功效而逐渐受到消费者的喜爱,人们对果酒的需求量也日益增大[7]。随着柿子经济价值逐渐攀升,涌现了柿子酒等产品,将柿子酿制成柿子酒,不但可以节约酿酒粮食,还可增加柿子的附加值。

近年来,研究者主要探究了不同发酵菌种,以及不同的发酵条件对柿子酒品质的影响[8]-[11],然而有关柿子品种对发酵品质的影响研究甚少。此外,传统柿子酒由于风味不佳,目前市场上仍没有成熟的产品。因此,发掘优良的、适于开发柿子酒的柿子品种,将为我国柿子酒的生产加工提供可靠的理论依据。

本研究以磨盘柿、大尖柿以及珠蜜柿为原料, 开发酿造柿子酒, 通过评价柿子酒感官与风味成分, 选择酿造柿子酒的优良原料。

2. 材料与方法

2.1. 材料与试剂

主要原料: 磨盘柿, 黄色, 无核, 2018 年 10 月购买自北京市房山区张坊镇; 大尖柿, 黄色, 无核, 2018 年 10 月购买自陕西省富平县农户家; 珠蜜柿, 橘红色, 无核, 2018 年 10 月购买自山西省永济市蒲州镇。

辅料: 果胶酶(酶活性: 133 U/g), 烟台帝伯仕有限公司; 酵母菌种, 葡糖酒、果酒专用酵母, 烟台帝伯仕酵母有限公司提供; 焦亚硫酸钾, 烟台帝伯仕自酿机有限公司提供。以上辅料均为食品级。

试剂: 氢氧化钠、酚酞、95%乙醇、氯化钠(分析纯), 国药集团化学试剂有限公司; 平板计数琼脂, 北京路桥技术股份有限公司; 结晶紫中性红胆盐琼脂(VRBA), 北京路桥技术股份有限公司。

2.2. 仪器与设备

雷磁 pH 计(PHS-3C): 上海精密科学仪器有限公司; 糖度计(PAL-1): 日本 ATAGO 公司; 酒精计(JN-JJ7751): 河北省衡水测温仪表厂; 紫外-可见分光光度计(T6-1650): 普析通用仪器有限公司; 恒温水浴锅(HH-4): 浙江金坛试验仪器有限公司; 分析天平(ALC-210.4): 德国 Acculab 公司; 气相色谱-质谱联用仪(GC-MS QP2010 plus): 日本岛津公司, 萃取头(100 μ m PDMS): 日本岛津公司。

2.3. 试验方法

2.3.1. 柿子酒发酵工艺流程及操作要点

柿子→挑选→去柄→破碎→添加果胶酶→调整糖度、酸度→加酵母发酵→过滤→陈酿→成品。挑选成熟新鲜的柿子, 清水洗净柿表皮污染物, 清洗后自然晾干除去果柄, 柿子一边破碎一边加入用纯净水稀释好的焦亚硫酸钾, 破碎完成 2 h 后加入用 10 倍纯净水稀释好的果胶酶, 酶添加量为 0.02 g/L, 酶解时间 15 h。活化酵母, 用 10 倍 30℃ 的温水同时加入水重量 5% 的糖, 之后加入酵母, 搅拌均匀后静置 15 min, 出现大量泡沫, 酵母活化成功。酵母(添加量为 0.2 g/L)加入后, 将果浆装入发酵罐, 容器充满系数控制在 80%, 以防发酵时膨胀外溢, 然后用纱布将其封口, 在此期间, 适当地搅拌并排气。发酵第二天调整其发酵液的糖度, 使其糖度达到 21%, pH 在 4.5 左右, 密封发酵罐, 置于 23℃ $\pm$ 1℃ 的避光环境下发酵。第 18 天终止发酵, 过滤后置于 4℃ 冰箱中自然澄清。

2.3.2. 柿子酒总酸的测定

按 GB/T 15038-2006 葡萄酒、果酒通用分析方法对柿子酒的总酸进行测定。样品中总酸含量的计算公式如下:

$$X = [c \times (V_1 - V_0) \times K] / V_2$$

式中:

X ——样品中总酸含量(以柠檬酸计), 单位为克每升(g/L);

c ——氢氧化钠标准滴定溶液的浓度, 单位为摩尔每升(mol/L);

V_0 ——空白试验消耗氢氧化钠标准滴定溶液的体积, 单位为毫升(mL);

V_1 ——样品滴定时消耗氢氧化钠标准滴定溶液的体积, 单位为毫升(mL);

V_2 ——吸取样品的体积, 单位为毫升(mL);

K ——换算系数 64。

2.3.3. 柿子酒糖度的测定

用糖度计法对柿子果酒进行糖度的测定。

2.3.4. 柿子酒酒精度的测定

按照 GB/T 15038-2006 葡萄酒、果酒通用分析方法，测定并计算酒液中的酒精含量。采用酒精计法来测定发酵所得柿子酒的酒精度。

2.3.5. 感官评分设置

选取 10 名食品专业研究人员(男女比例 3:2)组成感官评价小组，在同一天分别从色泽、澄清度、香气、滋味、典型性等方面对柿酒进行感官评定。综合评价分数越高，则说明柿子酒质量越好。感官评定标准如表 1 所示[12]。

Table 1. Sensory scoring criteria
表 1. 感官评分标准

项目	要求
色泽及澄清程度(10 分)	淡黄色或淡红色，澄清透明，无悬浮物，无沉淀
香气(30 分)	具有浓郁的柿子果香和发酵酒香
滋味(40 分)	具有柿子独特风味，酒体丰满，醇厚协调，舒适爽口
典型性(20 分)	典型完美，风格独特，优雅

2.3.6. 细菌总数的测定

按 GB 4789.2-2016 中的稀释平板计数法测定细菌总数。

2.3.7. 大肠菌群的测定

按 GB 4789.2-2016 中的大肠菌群平板计数法测定。

2.3.8. 柿子酒总色度及透光度的测定

总色度及透光度的测定参考李凤英等[13]。总色度采用分光光度法：用蒸馏水作为空白对照，分别测定波长在 420、520、620 nm 光程等于 1 cm 的吸光度值 A ，其色度 $I = A_{420} + A_{520} + A_{620}$ 。透光率参考文献 [8]：以蒸馏水为空白对照，测定波长在 680 nm 下的吸光值，样品透光率 T 的计算公式为： $A = -\lg T$ 。

2.3.9. 固相微萃取 - 气质联用分析柿子酒中香气成分

1) 样品处理

挥发性物质的提取和分析方法参考张媛等[14]。

2) GC-MS 条件

气相色谱条件：毛细管色谱柱(50 m × 0.25 mm × 0.25 m)，不分流进样，进样口温度为 250℃，保持 5 min；检测器温度为 260℃；以 5℃/min 的升温速度升至 60℃，再以 5℃/min 的升温速度升至 250℃，保持 10 min，载气为 He，流量为 1.00 mL/min。

质谱条件：EI 电离源，连接杆温度 260℃，电离电压 70 eV，离子源温度 230℃，扫描范围为 20~490 u。

3) 定性分析

用 GC-MS 软件，以标准样品的保留时间和检索 NIST 11 谱库，对未知挥发性化合物谱图进行比对，选择相似度 > 80%的物质作为有效的挥发性物质，进行统计分析。

2.3.10. 数据处理

采用 Excel 2019 软件对试验数据进行处理, 试验结果采用平均值 $\pm$ 标准偏差的形式表示, 并通过 SPSS 22.0 软件进行单因素方差分析, 以最小显著性差异(Least Significant Difference, LSD)检验进行差异显著性分析($P < 0.05$)。

3. 结果与分析

3.1. 柿子酒总酸的测定

三种柿子酒在发酵过程中总酸的变化情况如图 1 所示。结合图 1 分析可知, 柿子酒发酵液的总酸在发酵前期逐渐升高, pH 值逐渐下降, 主要原因是酵母菌在发酵的过程中产酸, 提高了柿子酒的酸度。发酵中期总酸含量会降低, 分析可能是由于酸类物质的积累在一定程度上抑制了酵母的活性, 此外在该时期有些酸类转化成了酯类物质, 进而造成柿子酒发酵中期总酸降低。发酵后期总酸和 pH 值的变化基本趋于稳定。总体来看三种柿子酒的总酸变化趋势大体相同。

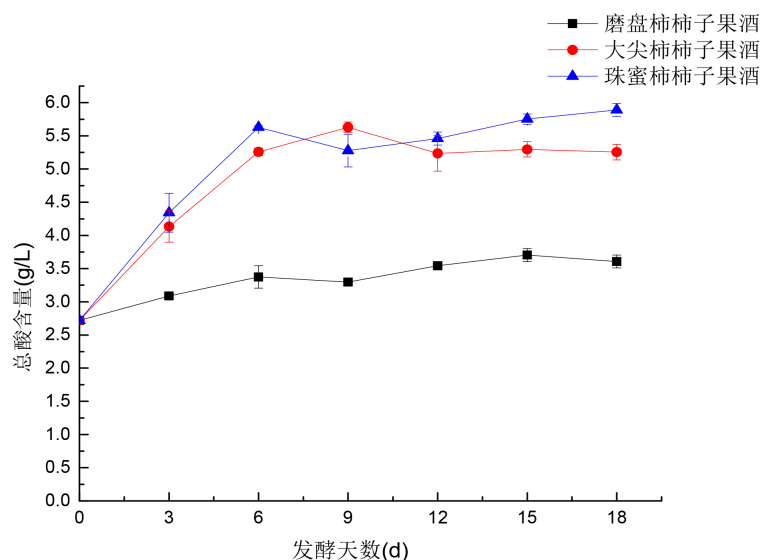


Figure 1. Change of total acid in persimmon wine fermentation process

图 1. 柿子酒发酵过程中总酸的变化

3.2. 柿子酒糖度的测定

在柿子酒发酵过程中, 糖度的变化不仅反映了糖的利用, 同时也反映了发酵醪的发酵程度[11] [15] [16]。三种柿子酒在发酵过程中糖度的变化情况如图 2 所示。由图 2 可知, 随着发酵时间的延长, 柿子酒的总糖度逐渐下降并在第九天开始达到稳定, 说明柿子酒耗糖量呈现一个先快后慢的趋势。发酵液在前 9 天消耗糖的速度较快, 这是由于柿子酒在发酵前期(0~9 天)酵母代谢活动旺盛, 糖被大量用于酵母菌的生长繁殖和酒精发酵, 从而导致柿子酒发酵醪中的糖含量急剧降低。随着发酵进入中后期(9~18 天), 酵母菌利用的糖类减少, 酒精含量的增多使酵母活性受到一定程度的抑制, 导致糖降解速率降低, 直至发酵结束, 糖度保持在一定的含量不再发生变化。糖度总体变化趋势同火罐柿子酒[12]的变化趋势一致。

3.3. 柿子酒酒精度的测定结果

三种柿子酒酒精度的比较如图 3 所示, 发酵终止时磨盘柿柿子酒的酒精度最高, 为 12.4%, 大尖柿

柿子酒的酒精度为 11%, 珠蜜柿柿子酒的酒精度为 10.5%, 且差异均显著($P < 0.05$)。三种柿子酒的酒精度在 10.5%~12.4%, 符合 GB 15037-2006 中果酒酿造要求。

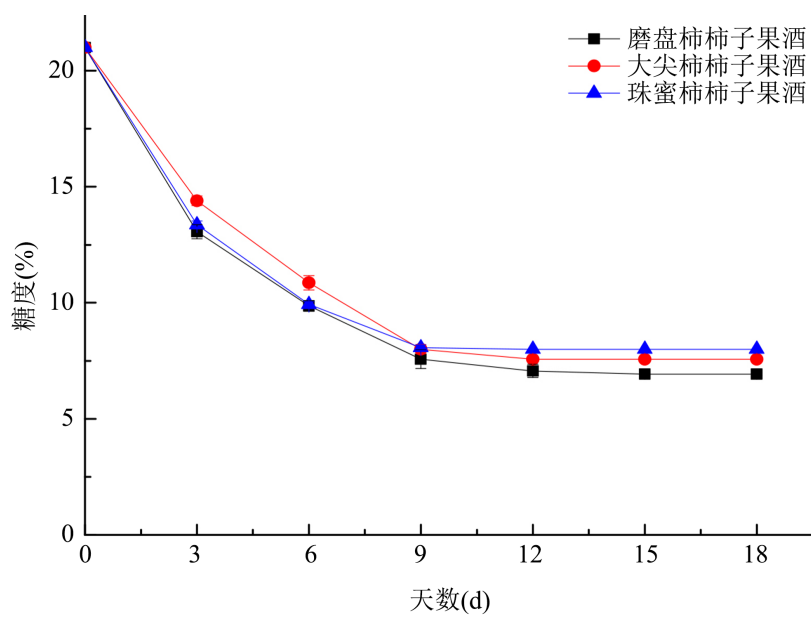


Figure 2. Changes of sugar content in persimmon wine during fermentation
图 2. 柿子酒发酵过程中糖度的变化

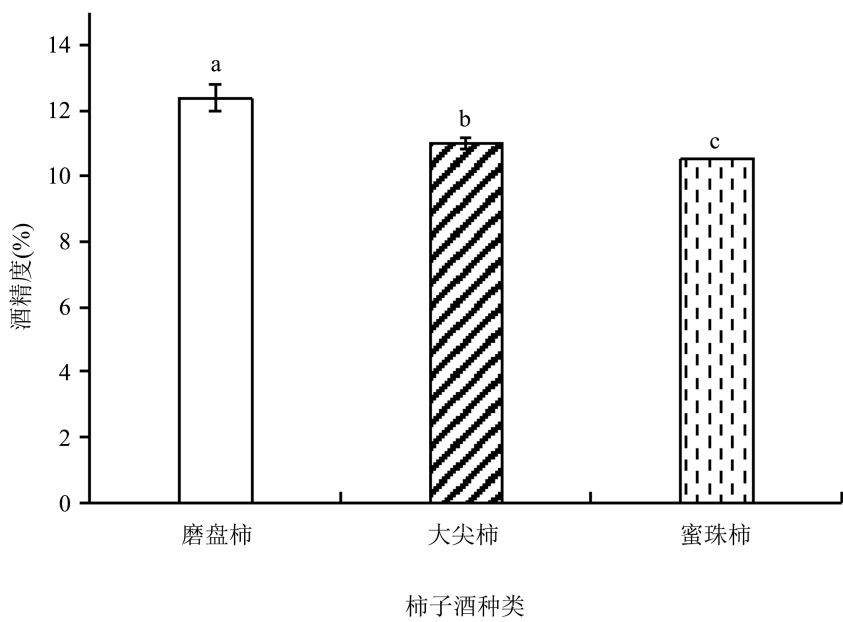


Figure 3. Different persimmon wine alcohol content ((a)~(c): different letters mean $P < 0.05$, significant differences)
图 3. 不同柿子酒的酒精含量((a)~(c): 不同字母表示 $P < 0.05$, 差异显著)

3.4. 柿子酒总色度及透光度的测定结果

结合图 4 和图 5 分析可知, 透光率: 磨盘柿子酒 > 大尖柿子酒 > 珠蜜柿子酒; 总色度: 磨盘柿子酒 < 大尖柿子酒 < 珠蜜柿子酒。3 种果酒在色度(0.11~1.394)和透光率(69.3%~98.8%)上差异显著($P < 0.05$)。

0.05)。其中珠蜜柿的色度最高, 透明度最低, 说明这种果酒的有色物质含量较其他两种果酒高。造成柿子酒色度高的原因, 可能与原柿子酒发酵液的有色物质含量有关, 还可能与总酸含量有关。研究表明总酸不但影响微生物的代谢活动, 而且还会对果酒的颜色造成影响[17]-[19]。而色度会影响果酒的透光率, 因此珠蜜柿的透光率最低。

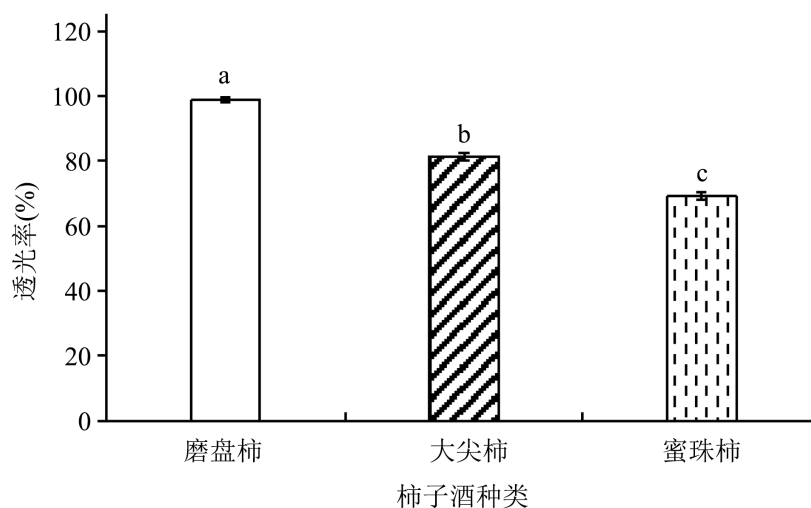


Figure 4. Different light transmittance of persimmon wine ((a)~(c): different letters mean $P < 0.05$, significant differences)
图 4. 不同柿子酒的透光率((a)~(c): 不同字母表示 $P < 0.05$, 差异显著)

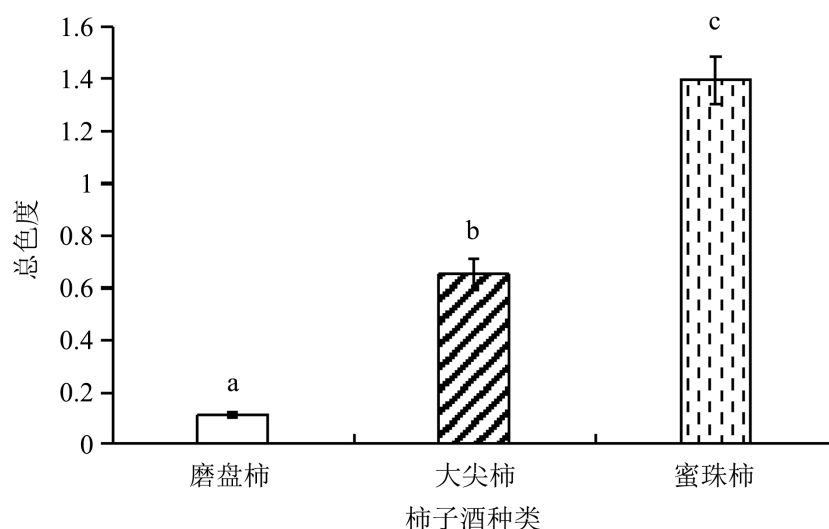


Figure 5. Total different persimmon wine chromaticity ((a)~(c): different letters mean $P < 0.05$, significant differences)
图 5. 不同柿子酒的总色度((a)~(c): 不同字母表示 $P < 0.05$, 差异显著)

3.5. 柿子酒的感官评价结果

参照 GB/T 15038-2006 葡萄酒、果酒通用中的感官评价方法, 不同柿子酒的产品感官评价及得分见表 2。综合产品的色泽澄清度、香气、滋味及典型性, 得出三种产品的得分都在 80 以上, 其中珠蜜柿柿子酒得分最高, 且与其他两种柿子酒相比差异显著($P < 0.05$), 考虑是否与其挥发性成分的不同有关, 因此接下来通过 GC-MS 对三种不同柿子酒的挥发性成分进行研究。

Table 2. Different persimmon wine of sensory evaluation and score
表 2. 不同柿子酒的感官评价及得分

产品	感官评价	得分/分
磨盘柿子果酒	淡黄色，澄清透亮，无悬浮物，无沉淀，有淡淡的柿子果香，口感醇厚协调	80
大尖柿子果酒	淡红色，无悬浮物，无沉淀，具有浓郁的柿子果香和淡淡的酒香，口感醇厚，舒服爽口	82.6
珠蜜柿子果酒	淡红色，澄清不透亮，无悬浮物，无沉淀， 具有浓郁的柿子果香，口感醇厚协调，舒适爽口	85

3.6. 微生物检测指标

由表 3 可知，三种柿子酒的微生物指标均符合 GB 4789.2-2016 和 GB 4789.2-2016 中规定的菌落总数 ≤ 50 CFU/mL，大肠菌群 ≤ 30 MPN/mL。

Table 3. Microbiological indicators of different persimmon wines
表 3. 不同柿子酒的微生物指标

产品	菌落总数(CFU/mL)	大肠菌群(CFU/mL)
磨盘柿子果酒	28	-
大尖柿子果酒	22	-
珠蜜柿子果酒	33	-

注：“-”表示未检出。

3.7. 不同柿子酒的香气成分分析

磨盘柿柿子酒主要香气成分的 GC-MS 总离子流色谱图如图 6 所示，经数据处理后，得出磨盘柿柿子酒主要的香气成分及其相对含量见表 4。

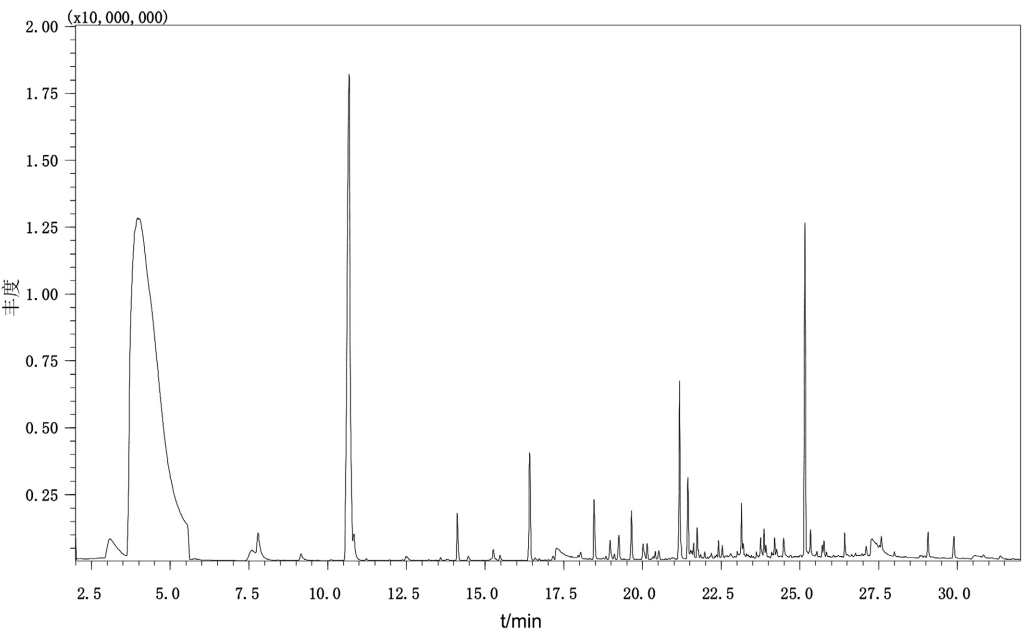


Figure 6. Millstone persimmon wine GC-MS total ion current chromatogram
图 6. 磨盘柿柿子酒 GC-MS 总离子流色谱图

Table 4. Millstone persimmon wine aroma components of GC-MS analysis results
表 4. 磨盘柿子果酒香气成分的 GC-MS 分析结果

序号	保留时间/min	分子式	分子量	相对含量(%)	化合物名称
1	3.092	C ₄ H ₈ O ₂	88	1.67 ± 0.01	乙酸乙酯
2	3.992	C ₂ H ₆ O	46	51.03 ± 0.99	乙醇
3	7.792	C ₇ H ₁₄ O ₂	130	21.07 ± 1.01	乙酸异戊酯
4	10.817	C ₅ H ₁₂ O	88	0.09 ± 1.5	异戊醇
5	14.492	C ₆ H ₁₄ O	102	1.84 ± 1.97	正己醇
6	15.175	C ₉ H ₁₈ O	142	1.65 ± 0.25	顺-2-壬烯-1-醇
7	16.333	C ₁₀ H ₂₀ O ₂	172	0.05	辛酸乙酯
8	17.175	C ₂ H ₇ NO ₂	77	0.38 ± 0.33	醋酸铵
9	19.258	C ₄ H ₁₀ O ₂	90	0.58 ± 0.26	(2R,3R)-(-)-2,3-丁二醇
10	19.633	C ₈ H ₁₈ O	130	0.1 ± 0.27	正辛醇
11	20.375	C ₁₆ H ₃₄	226	0.46 ± 0.08	十六烷
12	20.5	C ₁₀ H ₁₈ O	154	0.05 ± 0.05	3-环己烯
13	21.142	C ₁₂ H ₂₄ O ₂	200	0.38 ± 0.56	癸酸乙酯
14	21.833	C ₈ H ₁₄ O ₄	174	0.25 ± 0.1	丁二酸二乙酯
15	22.175	C ₁₉ H ₄₀	268	1.57 ± 0.02	十九烷
16	22.533	C ₄ H ₁₀ OS	106	0.1 ± 0.05	3-甲硫基丙醇
17	22.775	C ₁₀ H ₈	128	0.14 ± 0.03	甘菊环
18	23.142	C ₈ H ₉ NO ₂	151	0.11	甲氧基苯肼
19	23.9	C ₁₀ H ₁₂ O ₂	164	0.33 ± 0.06	乙酸苯乙酯
20	24.675	C ₁₆ H ₃₀ O ₄	286	0.32 ± 0.03	2,2,4-三甲基-3-羧异丙基戊酸异丁基酯
21	24.925	C ₂₁ H ₄₄	296	1.45 ± 0.13	二十一烷
22	25.15	C ₈ H ₁₀ O	122	1.23 ± 1.93	苯乙醇
23	25.758	C ₃₂ H ₆₀ O ₂	476	0.04 ± 1.72	(Z)-9-十六烯酸(Z)-9-十六烯基酯
24	26.508	C ₁₇ H ₃₄ O ₂	270	0.02	十四酸异丙酯
25	26.642	C ₁₆ H ₃₂ O ₂	256	2.79	十四酸乙酯
26	27.317	C ₈ H ₁₆ O ₂	144	0.33 ± 1.73	辛酸
27	27.992	C ₁₆ H ₃₄ O	242	0.49 ± 0.09	1-十六烷醇
28	29.058	C ₁₈ H ₃₆ O ₂	284	0.47 ± 0.12	十六酸乙酯
29	29.883	C ₁₄ H ₂₂ O	206	0.01	2,4-二叔丁基苯酚
30	29.983	C ₃ H ₈ O ₃	92	0.02	甘油
31	30.55	C ₁₀ H ₂₀ O ₂	172	0.01	正癸酸
32	30.825	C ₁₅ H ₂₀ O	216	0.01	alpha-己基肉桂醛
33	7.567	C ₄ H ₁₀ O	74	2.66 ± 1.01	异丁醇
34	10.825	C ₈ H ₁₆ O ₂	144	0.47 ± 1.46	正己酸乙酯
35	14.467	C ₇ H ₁₄ O ₂	130	1.19 ± 1.97	甲酸己酯
36	15.258	C ₉ H ₁₈ O	142	6.05 ± 0.25	壬醛
37	16.417	C ₁₀ H ₂₀ O ₂	172	0.11 ± 0.71	辛酸乙酯

续表

38	20.517	C ₁₀ H ₁₈ O	154	0.17 ± 0.05	4-萜烯醇
39	24.258	C ₁₄ H ₂₈ O ₂	228	0.02 ± 0.06	十二烷酸乙酯
40	17.992	C ₂₂ H ₄₂ O ₄	370	0.25 ± 0.03	草酸异丁基十六烷基酯
41	24.25	C ₁₄ H ₂₈ O ₂	228	0.01 ± 0.06	月桂酸乙酯
42	31.375	C ₈ H ₈ O	120	0.03	2,3-二氢苯并呋喃

结合图 6 和表 4 可知,磨盘柿柿子酒共有 42 种香气成分,其中醇类 12 种(59.96%),酸类 2 种(0.34%),酯类 17 种(29.44%),醛类 2 种(6.06%),烷烃类 3 种(3.48%),烯烃类 1 种(0.05%),其他类 5 种(0.67%)。大尖柿柿子酒主要香气成分的 GC-MS 总离子流色谱图如图 7 所示。

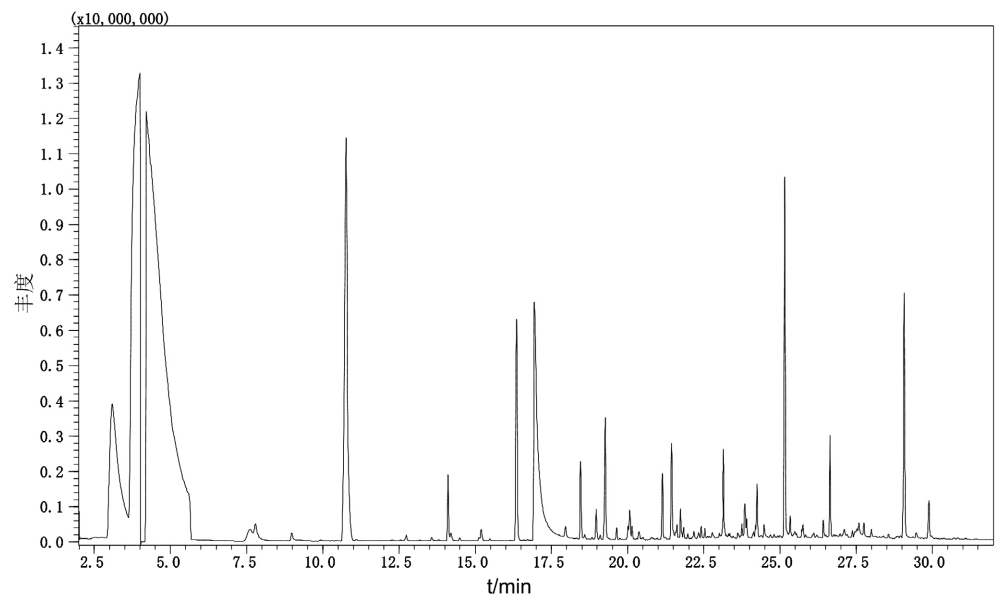


Figure 7. Big-tip persimmon wine GC-MS total ion current chromatogram
图 7. 大尖柿柿子酒 GC-MS 总离子流色谱图

经数据处理后,得出大尖柿柿子酒主要的香气成分见表 5。

Table 5. Big-tip persimmon wine aroma components of GC-MS analysis results
表 5. 大尖柿柿子酒香气成分的 GC-MS 分析结果

序号	保留时间/min	分子式	分子量	相对含量(%)	化合物名称
1	3.092	C ₄ H ₈ O ₂	88	8.84 ± 0.17	乙酸乙酯
2	3.992	C ₂ H ₆ O	46	52.4 ± 1.78	乙醇
3	7.783	C ₇ H ₁₄ O ₂	130	0.72 ± 1.29	乙酸异戊酯
4	10.767	C ₅ H ₁₂ O	88	12.3 ± 1.79	异戊醇
5	12.742	C ₄ H ₈ O ₂	88	0.16 ± 0.14	3-羟基丁酮
6	14.2	C ₅ H ₁₀ O ₃	118	0.87 ± 0.36	乳酸乙酯
7	14.492	C ₆ H ₁₄ O	102	0.06 ± 2.21	正己醇

续表

8	15.2	C ₉ H ₁₈ O	142	0.23 ± 1.9	壬醛
9	16.358	C ₁₀ H ₂₀ O ₂	172	1.51 ± 0.56	辛酸乙酯
10	16.942	C ₂ H ₄ O ₂	60	2.80 ± 1.27	醋酸
11	19.267	C ₄ H ₁₀ O ₂	90	1.98 ± 0.52	(2R,3R)-(-)-2,3-丁二醇
12	19.642	C ₈ H ₁₈ O	130	6.85 ± 0.06	正辛醇
13	20.375	C ₁₃ H ₂₈	184	0.03 ± 1.09	5-丙基癸烷
14	21.142	C ₁₂ H ₂₄ O ₂	200	1.98 ± 0.87	癸酸乙酯
15	21.842	C ₈ H ₁₄ O ₄	174	0.25 ± 0.1	丁二酸二乙酯
16	22.533	C ₄ H ₁₀ OS	106	0.05 ± 0.06	3-甲硫基丙醇
17	22.783	C ₁₀ H ₈	128	0.04 ± 0.21	甘菊环
18	23.142	C ₈ H ₉ NO ₂	151	0.01 ± 0.08	甲氧基苯酚
19	23.842	C ₉ H ₁₀ O	134	0.04 ± 0.2	2,4-二甲基苯甲醛
20	23.908	C ₁₀ H ₁₂ O ₂	164	0.18 ± 0.01	乙酸苯乙酯
21	24.242	C ₁₄ H ₂₈ O ₂	228	0.39 ± 0.17	月桂酸乙酯
22	25.158	C ₈ H ₁₀ O	122	3.44 ± 0.04	苯乙醇
23	26.642	C ₁₆ H ₃₂ O ₂	256	0.23 ± 0.04	十四酸乙酯
24	27.375	C ₁₇ H ₃₄ O ₂	270	0.09 ± 0.07	十五酸乙酯
25	27.45	C ₈ H ₁₆ O ₂	144	0.71 ± 0.04	辛酸
26	28	C ₁₆ H ₃₄ O	242	0.06 ± 0.01	1-十六烷醇
27	29.075	C ₁₈ H ₃₆ O ₂	96	0.09 ± 0.03	十六酸乙酯
28	29.467	C ₁₈ H ₃₄ O ₂	282	0.24 ± 0.07	9-十六碳烯酸乙酯
29	29.883	C ₁₄ H ₂₂ O	206	0.01 ± 0.02	2,4-二叔丁基苯酚
30	7.625	C ₄ H ₁₀ O	74	0.35 ± 0.04	异丁醇
31	10.95	C ₈ H ₁₆ O ₂	144	0.15 ± 0.14	正己酸乙酯
32	17.025	C ₂ H ₇ NO ₂	77	0.34 ± 0.13	醋酸铵
33	18.117	C ₁₀ H ₂₀ O	156	0.10 ± 0.02	癸醛
34	20.533	C ₁₂ H ₂₄ O	184	0.03 ± 0.03	1,2-环氧十二烷
35	22.208	C ₂₀ H ₄₂	282	0.04 ± 0.06	9-甲基壬烷
36	24.275	C ₁₄ H ₂₈ O ₂	228	0.19 ± 0.17	十二烷酸乙酯
37	24.708	C ₁₆ H ₃₀ O ₄	286	0.02	2,2,4-三甲基-3-羧异丙基戊酸异丁基酯
38	25.242	C ₁₄ H ₂₈ O	212	0.01 ± 0.04	肉豆蔻醛
39	25.5	C ₁₃ H ₂₀ O	192	0.06	beta-紫罗酮
40	30.833	C ₁₅ H ₂₀ O	216	0.01	alpha-己基肉桂醛

续表

41	7.542	C ₅ H ₁₂	72	2.00 ± 0.04	正戊烷
42	18.05	C ₁₅ H ₃₂	212	0.05	十五烷
43	19.033	C ₁₁ H ₂₂ O ₂	186	0.03 ± 0.51	壬酸乙酯
44	22.192	C ₁₉ H ₄₀	268	0.04 ± 0.01	十九烷
45	22.8	C ₁₀ H ₈	128	0.01 ± 0.06	萘
46	27.992	C ₁₂ H ₂₆ O	186	0.01 ± 0.06	2-丁基辛醇

结合图 7 和表 5 可知,大尖柿柿子酒共有 46 种香气成分,其中醇类 10 种(77.5%),酸类 2 种(3.51%),酯类 16 种(15.78%),酮类 2 种(0.22%),醛类 5 种(0.39%),烷烃类 6 种(2.19%),其他类 5 种(0.41%)。珠蜜柿柿子酒主要香气成分的 GC-MS 总离子流色谱图如图 8 所示。

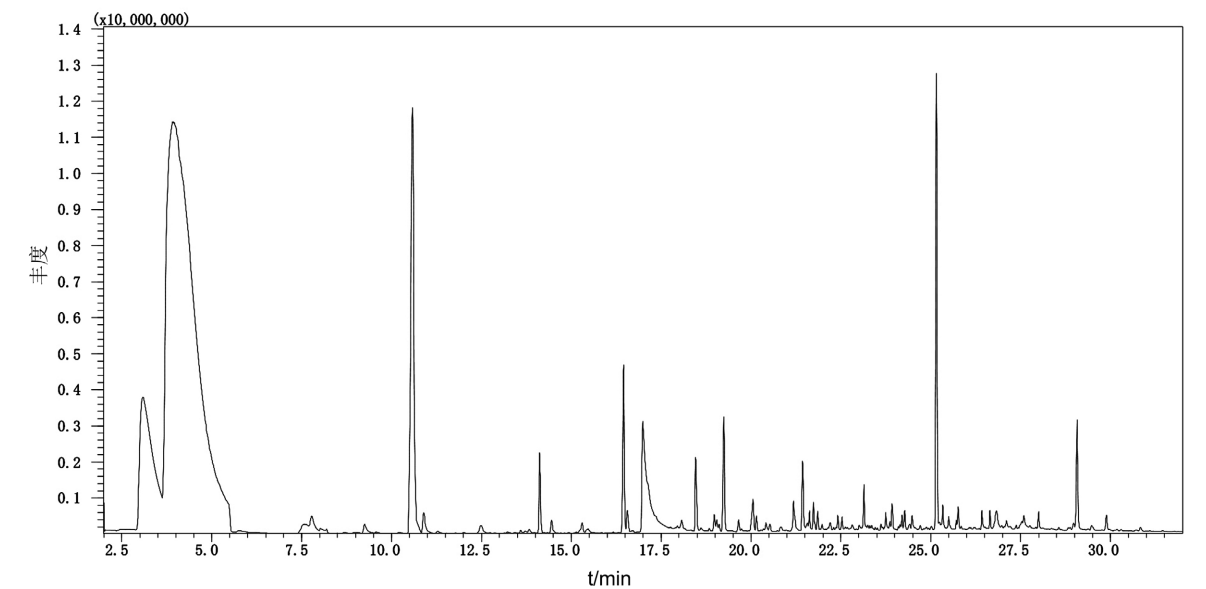


Figure 8. Bead-honey persimmon wine GC-MS total ion current chromatogram
图 8. 珠蜜柿柿子酒 GC-MS 总离子流色谱图

经数据处理后,得出珠蜜柿柿子酒主要的香气成分见表 6。

Table 6. Bead-honey persimmon wine aroma components of GC-MS analysis results
表 6. 珠蜜柿柿子酒香气成分的 GC-MS 分析结果

序号	保留时间/min	分子式	分子量	相对含量(%)	化合物名称
1	3.083	C ₄ H ₈ O ₂	88	9.65 ± 0.11	乙酸乙酯
2	3.908	C ₂ H ₆ O	46	50.41 ± 0.86	乙醇
3	10.583	C ₅ H ₁₂ O	88	12.92 ± 0.23	异戊醇
4	10.892	C ₈ H ₁₆ O ₂	144	1.04 ± 0.01	正己酸乙酯
5	12.483	C ₉ H ₈ O ₂	148	0.41 ± 0.04	1-苯基-1,2-丙二酮

续表

6	14.45	C ₆ H ₁₄ O	102	0.22 ± 0.40	正己醇
7	16.458	C ₁₀ H ₂₀ O ₂	172	5.36 ± 0.56	辛酸乙酯
8	16.992	C ₂ H ₇ NO ₂	77	0.35 ± 1.22	醋酸铵
9	18.075	C ₁₆ H ₃₄	226	0.09 ± 0.11	十六烷
10	19.05	C ₁₁ H ₂₂ O ₂	186	0.03 ± 0.63	壬酸乙酯
11	19.242	C ₄ H ₁₀ O ₂	90	2.21 ± 0.44	(2R,3R)-(-)-2,3-丁二醇
12	19.658	C ₈ H ₁₈ O	130	2.07 ± 0.07	正辛醇
13	20.417	C ₁₇ H ₃₆	240	0.05 ± 0.05	十七烷
14	20.525	C ₁₀ H ₁₈ O	154	0.07	4-萜烯醇
15	21.183	C ₁₂ H ₂₄ O ₂	200	1.15 ± 0.04	癸酸乙酯
16	21.85	C ₈ H ₁₄ O ₄	174	0.36 ± 0.13	丁二酸二乙酯
17	22.533	C ₄ H ₁₀ OS	106	0.13 ± 0.03	3-甲硫基丙醇
18	23.142	C ₈ H ₉ NO ₂	151	0.01 ± 0.04	甲氧基苯酚
19	23.925	C ₁₀ H ₁₂ O ₂	164	0.25 ± 0.09	乙酸苯乙酯
20	24.275	C ₁₄ H ₂₈ O ₂	228	0.28 ± 0.19	十二烷酸乙酯
21	24.708	C ₁₆ H ₃₀ O ₄	286	0.03	2,2,4-三甲基-3-羧异丙基戊酸异丁基酯
22	25.158	C ₈ H ₁₀ O	122	4.07 ± 2.05	苯乙醇
23	25.5	C ₁₃ H ₂₀ O	192	0.08 ± 0.05	beta-紫罗酮
24	26.65	C ₁₆ H ₃₂ O ₂	256	0.21 ± 0.17	十四酸乙酯
25	26.825	C ₂₀ H ₃₈ O ₂	310	0.61 ± 0.17	2-[(9Z,12Z)-9,12-十八碳二烯-1-基氧基]乙醇
26	28	C ₁₆ H ₃₄ O	242	0.06 ± 0.02	1-十六烷醇
27	29.067	C ₁₈ H ₃₆ O ₂	284	0.04 ± 0.04	十六酸乙酯
28	29.883	C ₁₄ H ₂₂ O	206	0.01	2,4-二叔丁基苯酚
29	7.567	C ₅ H ₁₂	72	2.10 ± 0.04	正戊烷
30	7.783	C ₇ H ₁₄ O ₂	130	0.35 ± 0.01	乙酸异戊酯
31	10.7	C ₅ H ₁₂ O	88	0.18 ± 0.23	异戊醇
32	12.65	C ₄ H ₈ O ₂	88	0.08 ± 0.01	3-羟基丁酮
33	15.233	C ₉ H ₁₈ O	142	0.27 ± 0.16	壬醛
34	18.008	C ₃₀ H ₅₇ F ₃ O ₂	506	0.06 ± 0.02	八氟乙酸酯
35	22.183	C ₁₉ H ₄₀	268	0.05	十九烷
36	22.792	C ₁₀ H ₈	128	0.01	甘菊环
37	24.783	C ₁₄ H ₂₈ O ₂	228	0.02 ± 0.04	乙酸十二烯基酯
38	25.758	C ₁₂ H ₂₆ O	186	0.02	十二醇
39	26.642	C ₁₆ H ₃₂ O ₂	256	0.22 ± 0.17	肉豆蔻酸乙酯

续表

40	27.758	C ₁₇ H ₃₄ O ₂	270	0.01 ± 0.1	十五酸乙酯
41	28.958	C ₁₄ H ₃₀ O ₂	230	0.01 ± 0.04	2-(十二烷)乙醇
42	29.467	C ₁₈ H ₃₄ O ₂	282	0.12 ± 0.09	9-十六碳烯酸乙酯
43	30.175	C ₁₈ H ₂₆ O	258	0.01	2-溴-4-甲氧基吡啶
44	30.833	C ₁₅ H ₂₀ O	216	0.01	alpha-己基肉桂醛
45	12.292	C ₈ H ₁₆ O	128	0.67 ± 0.04	正辛醛
46	14.192	C ₅ H ₁₀ O ₃	118	0.92 ± 0.51	乳酸乙酯
47	16.942	C ₂ H ₄ O ₂	60	2.38 ± 0.72	醋酸
48	20.783	C ₁₁ H ₂₀ O ₂	184	0.03 ± 0.22	2-环己基-4,5-二甲基-1,3-二恶烷
59	22.333	C ₁₂ H ₂₄ O	184	0.04 ± 0.06	月桂醛
50	22.825	C ₁₃ H ₂₆ O ₂	214	0.22 ± 0.02	十一酸乙酯
51	26.217	C ₁₅ H ₃₀ O ₂	242	0.03	肉豆蔻酸甲酯
52	26.508	C ₁₇ H ₃₄ O ₂	270	0.01 ± 0.17	十四酸异丙酯
53	28.558	C ₁₇ H ₃₄ O ₂	270	0.01 ± 0.04	十六酸甲酯

结合图 8 和表 6 可知, 珠蜜柿柿子酒共有 53 种香气成分, 其中醇类 13 种(72.98%), 酸类 1 种(2.38%), 酯类 22 种(20.37%), 酮类 2 种(0.16%), 醛类 4 种(0.99%), 烷烃类 5 种(2.32%), 其他类 6 种(0.8%)。

综上, 在三种柿子酒共测得的 75 种香气成分中, 有 26 种共有物质, 脂类物质 28 种, 醇类物质 15 种, 醛酮类物质 8 种, 烷烃类物质 9 种。其中, 珠蜜柿柿子酒含有的香气成分种类最多, 有 53 种; 大尖柿柿子酒香气成分种类有 46 种; 磨盘柿柿子酒香气成分种类最少, 共有 42 种。三种柿子酒共测得的香气成分中酯类化合物种类最多, 分别测出 17 种(磨盘柿, 29.44%)、16 种(大尖柿, 15.78%)和 22 种(珠蜜柿, 20.37%), 构成了柿子酒的主要呈香成分[20]-[22], 其可以赋予果酒更丰富的风味与口感[23]-[25]。本试验中所选用的三种柿子, 经过同种酵母菌发酵后柿子酒的品质却各不相同, 体现在不同的感官评价与香气成分上。这是发酵所选用的柿子品种不同的结果, 因为不同品种的柿子之间营养组分存在差异, 进而导致同种菌株在发酵相同的时间里柿子酒的品质之间存在差异。

4. 结论

研究结果显示, 珠蜜柿柿子酒感官评价分值最高, 为 85 分, 这是由于其含有的香气成分种类最多, 具有 53 种成分, 其中, 醇类物质的相对含量为 72.98%, 酸类 2.38%, 酯类 20.37%, 酮类 0.16%, 醛类 0.99%, 烷烃类 2.32%, 其他类 0.8%; 且酯类物质的种类为 22 种, 远大于大尖柿柿子酒(16 种)与磨盘柿柿子酒(17 种), 但其酒精含量和透光率最低, 分别为 10.5%、70.8%; 大尖柿柿子酒感官评价分值及香气成分种类次之, 感官评价分值为 82.6 分, 香气成分种类 46 种, 酒精含量为 11%, 透光率为 83.1%; 磨盘柿柿子酒感官评价分值为 80 分, 其含有的香气成分种类最少, 有 42 种, 酒精含量为 12.4%, 透光率为 98.6%。因此, 珠蜜柿为酿造柿子酒的最佳品种。

基金项目

北京农业职业学院首席专家团队项目(XYTD-22-04); 北京市教育委员会科技计划一般项目(KM202412448002); 全国轻工职业教育教学指导委员会课题项目(QGJY2024014); 北京市食品营养与检

测创新团队(2025090204)。

参考文献

- [1] 胡伯凯, 陈波涛. 柿酒研究进展[J]. 贵州林业科技, 2017, 45(4): 58-61.
- [2] 荆雄, 杨辉, 苏文, 等. 非酿酒酵母与酿酒酵母混合发酵柿子酒特性的研究[J]. 中国酿造, 2018, 37(12): 52-56.
- [3] 江水泉, 孙芳. 中国柿子产业现状及工业化发展趋势[J]. 现代农业装备, 2019, 2(40): 64-68.
- [4] 刘滔, 朱维, 李春美. 我国柿子加工产业的现状与对策[J]. 食品工业科技, 2016, 37(24): 369-375.
- [5] 陈珍金, 刘绘鹏, 郭伟灵, 等. 柿子酒液态发酵工艺条件优化研究[J]. 安徽农业科学, 2017, 45(27): 103-106.
- [6] 杨静. 柿子综合加工技术研究[D]: [硕士学位论文]. 咸阳: 西北农林科技大学, 2012.
- [7] 王小东. 低甲醇、发酵型柿子果酒酿造工艺的研究[D]: [硕士学位论文]. 咸阳: 西北农林科技大学, 2017.
- [8] Lu, Y., Guan, X., Li, R., Wang, J., Liu, Y., Ma, Y., *et al.* (2021) Comparative Study of Microbial Communities and Volatile Profiles during the Inoculated and Spontaneous Fermentation of Persimmon Wine. *Process Biochemistry*, **100**, 49-58. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2020.09.023>
- [9] Kim, D., Lee, S., Jeon, J. and Park, H. (2019) Development of Air-Blast Dried Non-Saccharomyces Yeast Starter for Improving Quality of Korean Persimmon Wine and Apple Cider. *International Journal of Food Microbiology*, **290**, 193-204. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2018.10.002>
- [10] Shi, Z., Xi, L., Gao, S., Shi, Z., Wang, X., Ye, Z., *et al.* (2025) Effects of Drinking Slightly Acidic Electrolyzed Water on the Growth Health, Blood Physiology, and Intestinal Development in Mice. *Scientific Reports*, **15**, Article No. 7578. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-91614-8>
- [11] Zang, X.M., Du, Q., Jiang, J., *et al.* (2024) Impact of Combined Grape Maturity and Selected *Saccharomyces cerevisiae* on Flavor Profiles of Young “Cabernet Sauvignon” Wines. *Food Chemistry X*, **5**, Article 102066.
- [12] 刘瑞, 于章龙, 孙元琳, 等. 特色柿子酒酿造工艺[J]. 食品工业科技, 2018, 39(12): 114-118.
- [13] 李凤英, 高海生, 张立彬, 等. 欧李果酒的酿造工艺[J]. 河北科技师范学院学报, 2018, 32(3): 29-34.
- [14] 张媛, 张翔翔, 刘亚辉. 固相微萃取-气质联用分析柿子甜酒中的香气成分[J]. 现代食品科技, 2013, 29(6): 1428-1430.
- [15] 张晶, 左勇, 谢光杰, 等. 桑椹果酒主发酵过程中主要理化指标的变化[J]. 食品工业科技, 2018, 39(14): 18-22.
- [16] 常婷婷. 柿果实多酚的提取测定及混菌发酵对柿子酒品质的影响[D]: [硕士学位论文]. 咸阳: 西北农林科技大学, 2018.
- [17] Cosme, F., Oliveira, R., Filipe-Ribeiro, L. and Nunes, F.M. (2024) Wine Volatilome as Affected by Tartaric Stabilization Treatments: Cold Stabilization, Carboxymethylcellulose and Metatartaric Acid. *Foods*, **13**, Article 2734. <https://doi.org/10.3390/foods13172734>
- [18] 王贞强, 康晓军, 苏亚彬, 等. 柿子干酒和蒸馏酒中芳香化合物的研究[J]. 酿酒科技, 2012(2): 36-38.
- [19] Hidalgo, C., Mateo, E., Mas, A. and Torija, M.J. (2012) Identification of Yeast and Acetic Acid Bacteria Isolated from the Fermentation and Acetification of Persimmon (*Diospyros kaki*). *Food Microbiology*, **30**, 98-104. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2011.12.017>
- [20] 刘晓艳, 白卫, 沈颖, 等. 混菌发酵对柿子酒风味的影响研究[J]. 中国酿造, 2012, 31(9): 102-106.
- [21] Fandiño, M., Vilanova, M., Caldeira, I., Silvestre, J.M., Rey, B.J., Mirás-Avalos, J.M., *et al.* (2020) Chemical Composition and Sensory Properties of Albariño Wine: Fertilization Effects. *Food Research International*, **137**, Article 109533. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109533>
- [22] Lu, Y., Liu, Y., Lv, J., Ma, Y. and Guan, X. (2020) Changes in the Physicochemical Components, Polyphenol Profile, and Flavor of Persimmon Wine during Spontaneous and Inoculated Fermentation. *Food Science & Nutrition*, **8**, 2728-2738. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1560>
- [23] Cho, J., Kim, I., Dhungana, S.K., Do, H. and Shin, D. (2018) Persimmon Fruit Enhanced Quality Characteristics and Antioxidant Potential of Beer. *Food Science and Biotechnology*, **27**, 1067-1073. <https://doi.org/10.1007/s10068-018-0340-2>
- [24] Zou, B., Wu, J., Yu, Y., Xiao, G. and Xu, Y. (2017) Evolution of the Antioxidant Capacity and Phenolic Contents of Persimmon during Fermentation. *Food Science and Biotechnology*, **26**, 563-571. <https://doi.org/10.1007/s10068-017-0099-x>
- [25] Hu, K., Jin, G., Xu, Y., Xue, S., Qiao, S., Teng, Y., *et al.* (2019) Enhancing Wine Ester Biosynthesis in Mixed *Hanseniaspora uvarum*/*Saccharomyces cerevisiae* Fermentation by Nitrogen Nutrient Addition. *Food Research International*, **123**, 559-566. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.05.030>