

马懿, 禹潇, 魏鑫, 等. 发酵型猕猴桃红茶酒品质及风味感官分析 [J]. 食品工业科技, 2024, 45(12): 265–274. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023080255

MA Yi, YU Xiao, WEI Xin, et al. Quality and Flavor Sensory Analysis of Fermented Kiwi Black Tea Wine[J]. Science and Technology of Food Industry, 2024, 45(12): 265–274. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023080255

· 分析检测 ·

# 发酵型猕猴桃红茶酒品质及风味感官分析

马懿<sup>1,2,\*</sup>, 禹潇<sup>1,2</sup>, 魏鑫<sup>1,2</sup>, 杜勇<sup>3</sup>, 肖雄峻<sup>1,2</sup>, 黄慧玲<sup>1,2</sup>, 谭建霞<sup>1,2</sup>, 王越<sup>1,2</sup>

(1. 四川轻化工大学生物工程学院, 四川宜宾 644000;

2. 四川省酿酒专用粮工程技术研究中心, 四川宜宾 644000;

3. 五粮液集团有限公司, 四川宜宾 644000)

**摘要:** 为探究发酵型猕猴桃红茶酒品质特征, 以猕猴桃和红茶为原料进行发酵, 利用高效液相色谱法、顶空固相微萃取-气相色谱-质谱和电子鼻技术, 结合感官评价方法, 通过有机酸含量、单体酚含量、氨基酸含量、挥发性物质及感官特性等指标综合分析发酵型猕猴桃红茶酒的风味与品质。结果表明: 发酵使猕猴桃茶汁中单体酚和挥发性物质种类及含量显著增加 ( $P<0.05$ ), 提升了风味和品质。相较于猕猴桃酒, 发酵型猕猴桃红茶酒中琥珀酸含量提升了 70.93%; 单体酚总量显著提高了 22.17% ( $P<0.05$ ), 其中咖啡酸、表儿茶素和儿茶素为主要单体酚成分; 在风味感官检测中, 发酵型猕猴桃红茶酒共鉴定出 24 种挥发性物质, 特征香气物质主要为酯类, 其中己酸乙酯和丁酸乙酯对主体香气贡献最大, 呈现出水果、奶酪香, 有助于减少硫化物等不良气体的产生。综上, 发酵型猕猴桃红茶酒风味不仅符合传统猕猴桃酒果香浓郁、酯香突出的特征, 还带有轻微的油脂、坚果香, 总体风味特征丰富于猕猴桃酒, 值得广泛开发。

**关键词:** 发酵型猕猴桃红茶酒, 高效液相色谱, 顶空固相微萃取-气相色谱-质谱, 电子鼻, 风味, 品质

中图分类号: TS262.7

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2024)12-0265-10

本文网刊:

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2023080255



## Quality and Flavor Sensory Analysis of Fermented Kiwi Black Tea Wine

MA Yi<sup>1,2,\*</sup>, YU Xiao<sup>1,2</sup>, WEI Xin<sup>1,2</sup>, DU Yong<sup>3</sup>, XIAO Xiongjun<sup>1,2</sup>, HUANG Huiling<sup>1,2</sup>,  
TAN Jianxia<sup>1,2</sup>, WANG Yue<sup>1,2</sup>

(1. College of Bioengineering, Sichuan University of Science and Engineering, Yibin 644000, China;

2. Engineering Technology Research Center of Special Grain for Wine Making, Yibin 644000, China;

3. Wuliangye Group Co., Ltd., Yibin 644000, China)

**Abstract:** In order to explore the quality characteristics of fermented kiwifruit black tea wine, kiwifruit and black tea were fermented, and the flavor and quality of fermented kiwifruit black tea wine were comprehensively analyzed by using high performance liquid chromatography, headspace solid-phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry and electronic nose technology, combined with sensory evaluation methods, through organic acid content, monomeric phenol content, amino acid content, volatile substances and sensory characteristics. The results showed that the types and contents of monomeric phenols and volatile substances in kiwifruit tea juice were significantly increased by fermentation ( $P<0.05$ ), and the flavor and quality were improved. Compared with kiwifruit wine, the succinic acid content in fermented kiwifruit black tea wine increased by 70.93%. The total amount of monomeric phenols increased significantly by 22.17% ( $P<0.05$ ), in which caffeic acid, epicatechin and catechin were the main monomeric phenols. In the sensory evaluation of flavor, 24 kinds of volatile substances were identified in fermented kiwifruit black tea wine, and the main characteristic aroma substances were esters, among which ethyl caproate and ethyl butyrate contributed the most to the main aroma, showing the

收稿日期: 2023-08-24

基金项目: 四川轻化工大学研究生创新基金项目 (Y2023251)。

作者简介/通信作者\*: 马懿 (1983-), 男, 博士, 副教授, 研究方向: 食品科学与工程, E-mail: 191066789@qq.com。

aroma of fruit and cheese, which was helpful to reduce the generation of sulfide and other harmful gases. Overall, the flavor of fermented kiwifruit black tea wine not only conforms to the characteristics of traditional kiwifruit wine with rich fruit aroma and outstanding ester aroma, but also has a slight oil and nut aroma. The overall flavor characteristics are richer than kiwifruit wine, which is worthy of extensive development.

**Key words:** fermented kiwi black tea wine; high performance liquid chromatography; headspace solid phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry; electronic nose; flavour; quality

茶酒是一种以茶叶为主要原料,辅以水果等原料通过发酵、配制等工艺而制成的茶饮料<sup>[1]</sup>。近年来,茶酒因其兼具预防高血压和降低血脂等保健功效和风味醇香的优势<sup>[2]</sup>,受到了广泛关注。例如番石榴茶酒<sup>[3]</sup>、葡萄绿茶酒<sup>[4]</sup>、苹果茶酒<sup>[5]</sup>等果茶酒,不仅保留了茶酒清爽醇厚的特点,还融合了水果的酸甜风味,充分提升了水果与茶叶的综合利用效果。

猕猴桃,作为一种热带水果,富含维生素C、矿物质和多种活性成分<sup>[6]</sup>。以猕猴桃为原料酿造的果酒酒体醇厚清澈,果香浓郁,后味绵长。因此,将猕猴桃作为辅料融入茶酒的发酵过程,不仅有望改善茶酒的苦涩口感,还能为其赋予更多保健功能。黄莹捷等<sup>[7]</sup>以绿茶为主要原材料,辅以猕猴桃汁进行液态发酵,开发出了一款新型猕猴桃茶酒;本团队前期也采用单因素、正交试验对发酵型猕猴桃红茶酒生产工艺进行优化并测定其抗氧化活性<sup>[8]</sup>;诸如此类试验都仅局限于对猕猴桃茶酒工艺参数的研究,未能深入比较其与传统猕猴桃酒在品质与风味的差异。

基于此,本试验选用猕猴桃与红茶为原料进行发酵,以单体酚、有机酸、氨基酸以及挥发性成分等指标来分析其品质,以期发酵型猕猴桃红茶酒的品质探究提供参考,并为茶酒的推广提供数据支撑。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与仪器

红茶、绿心猕猴桃 购自宜宾本地超市;白砂糖 宜宾市售;酿酒高活性干酵母 安琪酵母股份有限公司;果胶酶(初始酶活 500 U/mg)、3,5-二硝基水杨酸、磷酸氢二钠、(均为分析纯)、有机酸标品、甲醇、(C<sub>7</sub>~C<sub>40</sub>)正构烷烃、单体酚标品、乙酸乙酯(色谱纯) 上海源叶生物科技有限公司;仲辛醇(色谱纯) 上海麦克林生化科技有限公司;氨基酸标品(色谱纯) 坛墨质检股份有限公司;偏重亚硫酸钾(分析纯)、无水乙醇、碳酸钠、盐酸、甲醛、95%乙醇、苯酚(均为分析纯) 成都市科龙化工试剂厂;氢氧化钠(分析纯) 重庆川东化工集团。

HWS-12 型电热恒温水浴锅 上海齐欣科学仪器有限公司;AR1140 型电子天平 梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司;DL-2 型万用电炉 北京中兴伟业仪器有限公司;JYZ-E25 型榨汁机 九阳股份有限公司;STARTER 2C 型 pH 计 奥豪斯仪器有限公司;KQ-700DE 型数控超声波清洗器 昆山市超声仪器有限公司;LC-2030C 型高效液相色谱仪 岛津企业管理(中国)有限公司;TG-16 型台式高速

离心机 四川蜀科仪器有限公司;7890A 型气相色谱仪 安捷伦科技有限公司;L-3000 型氨基酸分析仪 苏州华美辰仪器设备有限公司。

### 1.2 实验方法

**1.2.1 发酵型猕猴桃红茶酒酿造** 参照先前研究的最佳发酵型猕猴桃红茶酒发酵工艺<sup>[8]</sup>,设计工艺流程见图 1。猕猴桃处理后榨汁,红茶与水按照质量比 1:100 浸泡,浸泡后超声萃取 15 min,提取条件为功率 300 W、温度 80 ℃。红茶汤与猕猴桃汁按 1:1 比例混合均匀得到猕猴桃茶汁。以 160 mg/L 添加偏重铬酸钾,果胶酶添加量为 60 mg/L,发酵液经灭酶处理后过滤,添加白砂糖将糖度调整至 23°Brix,使用柠檬酸将发酵液 pH 调至 4。提前用糖水将干酵母活化,按 1.0% 接种量接种酵母,恒温 26 ℃ 发酵 7 d。

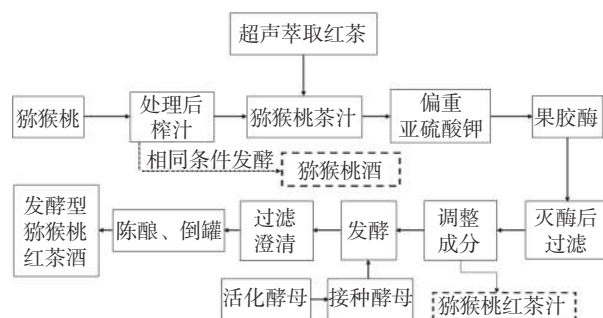


图 1 发酵型猕猴桃红茶酒制备工艺  
Fig.1 Preparation technology of fermented kiwifruit black tea wine

组别设置(每组 3 个平行):发酵型猕猴桃红茶酒组:按上述发酵工艺发酵;猕猴桃红茶汁组:调整成分后不接种酵母发酵,其余操作与发酵型猕猴桃红茶酒组相同;猕猴桃酒组:直接取榨汁后的猕猴桃汁按相同发酵条件发酵。

**1.2.2 有机酸含量测定** 参照杨建飞等<sup>[9]</sup>的方法并加以改进。样品处理:样品过 0.22 μm 尼龙滤膜待用。高效液相色谱(High Performance Liquid Chromatography, HPLC)条件:Agilent ZORBAX SB-Aq(4.6 mm×250 mm, 5 μm),流动相 A 为 KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> 溶液(pH=2.6),流动相 B 为甲醇溶液,V(KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>):V(甲醇)=95:5,进样量 10 μL,VWD 检测器,检测波长 210 nm,流速 0.4 mL/min,柱温 30 ℃。标准溶液:将草酸、酒石酸、丙酮酸、苹果酸、乳酸、乙酸、柠檬酸、琥珀酸、富马酸配制成不同梯度标准品溶液,溶液过 0.22 μm 的尼龙滤膜待用,采用外标法进

行定量。

**1.2.3 单体酚含量的测定** 参照 VALERO-CASES 等<sup>[10]</sup>的方法,并适当改进。样品制备:取 10 mL 样品加入同等体积乙酸乙酯,重复萃取 3 次,静置后取上清液,合并 3 次萃取液后,用旋转蒸发仪于 35 ℃ 蒸干,加入 2 mL 甲醇溶液溶解,过 0.22 μm 滤膜。将标准溶液稀释至 50、75、100、150、250、500 μg/mL,按色谱条件进行分析,并绘制单体酚标准曲线,以峰面积为横坐标,以标准物质浓度为纵坐标,建立回归方程。按照保留时间确定单体酚物质,并根据峰面积确定含量。

**色谱条件:** 色谱柱 Agilent ZORBAX SB-Aq (4.6 mm×250 mm, 5 μm); 柱温 30 ℃; 检测波长 280 和 310 nm; 流动相 A 为 1% 甲酸水,流动相 B 为 100% 乙腈; 进样量 10 μL; 流速 1 mL/min。梯度洗脱程序: 0~5 min, 95% A; 5~15 min, 85% A; 15~20 min, 80% A; 20~23 min, 80% A; 23~28 min, 70% A; 28~31 min, 70% A; 31~35 min, 55% A; 35~40 min, 45% A; 40~43 min, 45% A; 43~48 min, 35% A; 48~60 min, 95% A。

**1.2.4 氨基酸含量的测定** 参考 CALULL 等<sup>[11]</sup>的方法,采用异硫氰酸苯酯衍生剂(PITC)与发酵型猕猴桃红茶酒中游离氨基酸进行衍生反应测定发酵型猕猴桃红茶酒中氨基酸含量。流动相 A: 称取 1.64 g 无水乙酸钠,加适量水溶解,加入 0.5 mL 三乙胺,用水定容至 1000 mL,用 20% 乙酸溶液调 pH 至 6.20, 0.45 μm 水系滤膜过滤。流动相 B: 乙腈+水=8+2(体积比)。

**色谱条件:** C<sub>18</sub> 色谱柱(250 mm×4.6 mm, 5 μm); 柱温: 40 ℃; 检测波长 254 nm; 进样量 10 μL; 流速 1 mL/min。

**梯度洗脱程序:** 0~10 min, 92% A; 10~12 min, 90% A; 12~19 min, 81% A; 19~21 min, 74% A; 21~31 min, 65% A; 31~33 min, 54% A; 33~38 min, 0% A; 38~45 min, 92% A。

**1.2.5 挥发性物质的测定** 参照陈晓姣等<sup>[12]</sup>的方法并适当修改。样品处理: 8 mL 样品加入到 15 mL 顶空瓶,加入 2 g 氯化钠,并用移液枪准确吸取 20 μL 的 2-辛醇溶液(0.45 mg/mL)作为内标物。酒样预热: 45 ℃ 预热 10 min; 顶空吸附: 将老化后的微萃取头插入顶空瓶中,推出纤维头,于顶空位置吸附 35 min 后,收回纤维头; GC-MS 样品分析: 顶空吸附后迅速送样至 GC 送样口, 250 ℃ 热解吸 3 min。

**色谱条件:** 色谱柱采用 DB-17MS 毛细管柱(60 mm×0.25 mm, 0.25 μm); 高纯氦气流速为 1.2 mL/min; 进样方式不分流进样; 进样口温度控制在 250 ℃; 起始温度控制在 40 ℃ 并维持 5 min, 然后以 2 ℃/min 升温至 60 ℃, 再以 5 ℃/min 升温至 180 ℃ 并维持 5 min, 最后以 10 ℃/min 升温至 230 ℃ 并保持 10 min。

**质谱条件:** 电子轰击电离; 电子能量 70 eV; 扫描

范围 35~500 u; 热解析时间: 3 min。

**挥发性物质定性定量:** 对样品中的化合物定性主要采用保留指数对比和质谱库检索对比两种方式。将香气物质的 MS 谱图与质谱库(NIST11.L)中的质谱图对照定性; 香气物质的 RI 值与保留指数网站(<https://webbook.nist.gov/chemistry>)上的 RI 值对照定性; 挥发性物质的定量通过内标物的峰面积和样品中各组分的峰面积比值, 计算各个组分的质量浓度。

**1.2.6 特征香气成分的确定** 相对气味活度值(Relative Odor Activity Value, ROAV)用来评价化合物对整体风味的贡献程度。

ROAV 计算公式为:

$$ROAV_i = \frac{C_i}{C_{\max}} \times \frac{T_{\max}}{T_i} \times 100$$

式中: C<sub>i</sub> 为挥发性风味物质含量, μg/L; C<sub>max</sub> 为气味贡献最大挥发性风味物质含量, μg/L; T<sub>max</sub> 为气味贡献最大挥发性风味物质的阈值, μg/L; T<sub>i</sub> 为该挥发性成分嗅觉阈值, μg/L。

**1.2.7 电子鼻检测** 电子鼻检测参照张清安等<sup>[13]</sup>的方法略作修改。取 20 mL 样品放置于 50 mL 离心管中并密封, 用电子鼻对其顶空气体进行测定。每个样品平行测定 3 次, 电子鼻传感器及对应性能描述如表 1 所示。

表 1 电子鼻传感器及对应性能描述  
Table 1 Description of electronic nose sensor and its corresponding performance

| 传感器名称: 性能描述    |                 |
|----------------|-----------------|
| S1: 氨、胺        | S2: 硫化氢、硫       |
| S3: 氢          | S4: 有机溶剂(酒精)    |
| S5: 食物烹饪挥发性气体  | S6: 甲烷、沼气、碳氢化合物 |
| S7: 易燃气体       | S8: Vos(空气污染检测) |
| S9: 氢氧化氧、汽油、煤油 | S10: 烷烃, 易燃气体   |
| S11: 芳香族化合物    | S12: 硫化物        |
| S13: 甾醇、三萜     | S14: 内酯, 吡嗪     |

**1.2.8 感官评价** 感官评价方法参照徐俊南等<sup>[14]</sup>的方法进行。感官评价由 10 名经过培训的评估小组完成(5 名女性和 5 名男性, 平均年龄 30 岁, 所有小组成员在果酒相关领域都有超过 5 年的经验)。在整个感官分析过程中, 样品在标准感官室中进行评估, 具有白光、受控气流和 20~25 ℃ 的室温。

### 1.3 数据处理

利用 SPSS 进行数据分析, 并用 Origin 2018 作图, 所有数据均用平均值±标准差表示。显著性分析使用 Duncan 检验法, 结果采用标记字母法表示, 以上所有实验均设置 3 个重复。

## 2 结果与分析

### 2.1 发酵型猕猴桃红茶酒中有机酸的含量

采用高效液相色谱法对发酵型猕猴桃红茶酒发

酵前后和猕猴桃果酒中 9 种有机酸进行定性和定量分析(见表 2)。乳酸、琥珀酸和柠檬酸是猕猴桃茶汁中的主体酸,其中柠檬酸质量浓度最高,为  $4.01\pm 0.32\text{ mg/mL}$ ;发酵后,发酵型猕猴桃红茶酒中新检出了冰乙酸,为  $2.24\pm 0.16\text{ mg/mL}$ ,这是由于在高糖发酵环境中,酿酒酵母会产生较多的乙酸<sup>[15-16]</sup>。酸味较为平缓的苹果酸含量增加了近 95%,有利于发酵型猕猴桃红茶酒整体风味的协调性。草酸、富马酸、丙酮酸质量浓度相对较低,但能稳定果酒品质,构成了发酵型猕猴桃红茶酒独特的口感。发酵型猕猴桃红茶酒的乳酸与酒石酸以及柠檬酸含量明显低于未发酵的猕猴桃茶汁,猕猴桃酒中的柠檬酸浓度也在发酵后显著降低( $P<0.05$ ),可能是由于酵母细胞的分解代谢,另有研究指出柠檬酸会在苹果酸-乳酸发酵中被消耗代谢掉<sup>[17-18]</sup>;发酵型猕猴桃红茶酒与猕猴桃果酒相比,前者的琥珀酸含量显著高于后者( $P<0.05$ ),有研究表明琥珀酸在果酒陈酿过程中有利于酯类物质的形成,使其风味更加丰富<sup>[19]</sup>。而发酵型猕猴桃红茶酒乳酸含量明显低于猕猴桃酒的原因可能是由于红茶中的酚类物质抑制了乳酸菌等微生物的活性<sup>[20]</sup>。

表 2 发酵型猕猴桃红茶酒有机酸的种类及其含量  
Table 2 Types and contents of organic acids in fermented kiwifruit black tea wine

| 序号 | 质量浓度(mg/L) |                   |                    |                  |
|----|------------|-------------------|--------------------|------------------|
|    | 有机酸        | 猕猴桃茶汁             | 发酵型猕猴桃红茶酒          | 猕猴桃酒             |
| 1  | 草酸         | $0.21\pm 0.015^b$ | $0.092\pm 0.007^c$ | $0.29\pm 0.02^a$ |
| 2  | 酒石酸        | $1.31\pm 0.078^a$ | $0.72\pm 0.05^c$   | $0.97\pm 0.08^b$ |
| 3  | 丙酮酸        | $0.31\pm 0.022^c$ | $0.62\pm 0.04^b$   | $0.75\pm 0.04^a$ |
| 4  | 苹果酸        | $1.67\pm 0.11^b$  | $3.27\pm 0.23^a$   | $2.97\pm 0.12^a$ |
| 5  | 乳酸         | $3.81\pm 0.27^b$  | $2.44\pm 0.17^c$   | $5.72\pm 0.75^a$ |
| 6  | 柠檬酸        | $4.01\pm 0.32^a$  | $1.94\pm 0.27^b$   | $1.47\pm 0.31^b$ |
| 7  | 冰乙酸        | —                 | $2.24\pm 0.16^a$   | $1.98\pm 0.32^a$ |
| 8  | 琥珀酸        | $3.35\pm 0.24^a$  | $2.94\pm 0.21^b$   | $1.72\pm 0.11^c$ |
| 9  | 富马酸        | $0.07\pm 0.005^a$ | $0.05\pm 0.004^b$  | —                |

注: 同列不同字母表示差异显著( $P<0.05$ ),—为未检出。

2.2 发酵型猕猴桃红茶酒单体酚含量

酚类化合物不仅具有良好的抗氧化、抗癌活性,还与果酒质量(颜色和风味)高度相关。采用(高效液相色谱)HPLC 方法测定了发酵型猕猴桃红茶酒发酵前后和猕猴桃酒 13 种单体酚含量,如图 2 所示,发酵型猕猴桃红茶酒的主要单体酚是咖啡酸、表儿茶素和儿茶素,分别为  $11.79\pm 0.86$ 、 $26.50\pm 3.96$ 、 $9.85\pm 0.69\text{ }\mu\text{g/mL}$ ,咖啡酸容易氧化,与猕猴桃酒的褐变有关,它也是挥发性酚的前体<sup>[21]</sup>,儿茶素、咖啡酸和槲皮素通常与芳香化合物(如癸酸乙酯)结合,提升了发酵型猕猴桃红茶酒的功能性<sup>[22]</sup>。表儿茶素有利于改善血管功能,发酵后发酵型猕猴桃红茶酒表儿茶素含量显著增加了 138.49%( $P<0.05$ ),含量为  $26.50\pm 3.96\text{ }\mu\text{g/mL}$ 。未发酵猕猴桃茶汁中多酚类成分最多的为芦丁、表儿茶素、绿原酸,分别为  $7.19\pm 0.51$ 、

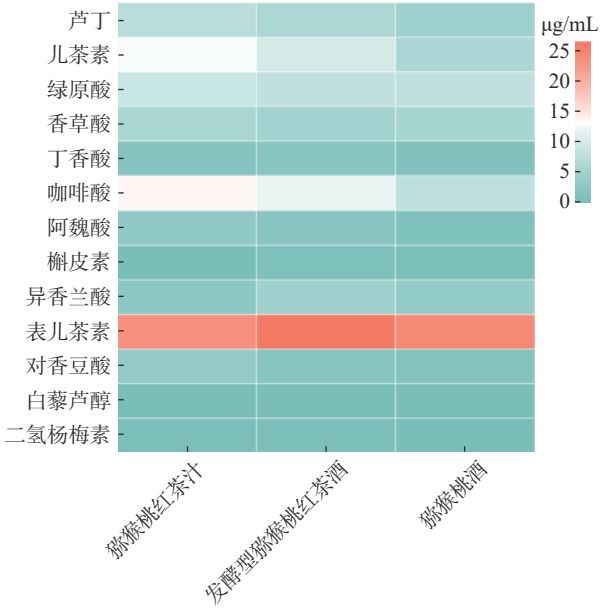


图 2 发酵型猕猴桃红茶酒单体酚含量热图

Fig.2 Heat map of phenolic content of fermented kiwi black tea wine

$23.69\pm 1.65$ 、 $8.69\pm 0.61\text{ }\mu\text{g/mL}$ 。黄烷醇(黄烷-3-醇)作为单体(儿茶素和表儿茶素)存在并聚合,黄烷醇有助于稳定发酵型猕猴桃红茶酒的颜色以及缓解涩味和苦味。黄酮醇、槲皮素通过与花青素的协同作用在发酵型猕猴桃红茶酒的颜色稳定性中发挥重要作用<sup>[23]</sup>。总体来看,发酵后发酵型猕猴桃红茶酒单体酚总含量显著增加( $P<0.05$ )。这证实了早期的结果,酿酒酵母的加入发酵显著提高单体酚的含量( $P<0.05$ ),改善了发酵型猕猴桃红茶酒的感官特性<sup>[24]</sup>。发酵型猕猴桃红茶酒与猕猴桃果酒相比,将猕猴桃与红茶混合发酵所得的发酵型猕猴桃红茶酒总酚含量更高,推测原因是茶叶含有丰富的多酚类物质,发酵之后,在微生物的作用之下水解产生单体酚融入酒体之中,导致发酵型猕猴桃红茶酒中单体酚含量更高。

2.3 发酵型猕猴桃红茶酒氨基酸含量

氨基酸是果酒中主要的呈味物质并具有重要的营养价值,与酒体中的醇类、酯类、有机酸类物质发生协同反应后能够提高味觉上的层次感。采用高效液相色谱法测定发酵型猕猴桃红茶酒发酵前后和猕猴桃酒中含有的 17 种常见氨基酸,其中谷氨酸(鲜味、酸甜)、脯氨酸(甜味)、组氨酸(酸味、苦味)、甘氨酸(甜味)、亮氨酸(苦味)、丙氨酸(甜味)、赖氨酸(鲜味、苦味)、丝氨酸(甜味)为主体氨基酸,感官上主呈酸甜味。氨基酸含量见表 3,未发酵猕猴桃茶汁中脯氨酸含量最大为  $807.61\pm 23.67\text{ mg/L}$ ,发酵后发酵型猕猴桃红茶酒与猕猴桃果酒中脯氨酸含量增加,其含量分别为  $942.05\pm 50.53$ 、 $902.23\pm 34.17\text{ mg/L}$ 。多数氨基酸包括天冬氨酸、谷氨酸、组氨酸、精氨酸、苏氨酸、丙氨酸、胱氨酸、亮氨酸、缬氨酸以及苯丙氨酸在发酵之后均出现降低,酵母菌利用皮渣

表 3 发酵型猕猴桃红茶酒氨基酸含量  
Table 3 Amino acid content of fermented kiwi  
fruit black tea wine

| 序号 | 质量浓度(mg/L) |                            |                            |                            |
|----|------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
|    | 氨基酸        | 猕猴桃茶汁                      | 发酵型猕猴桃红茶酒                  | 猕猴桃酒                       |
| 1  | 天冬氨酸(Asp)  | 27.20±2.51 <sup>a</sup>    | 25.64±2.38 <sup>a</sup>    | 19.27±1.53 <sup>b</sup>    |
| 2  | 谷氨酸(Glu)   | 128.23±3.76 <sup>a</sup>   | 41.64±3.24 <sup>c</sup>    | 92.13±2.31 <sup>b</sup>    |
| 3  | 丝氨酸(Ser)   | 12.62±1.02 <sup>c</sup>    | 19.24±1.32 <sup>a</sup>    | 15.24±1.09 <sup>b</sup>    |
| 4  | 甘氨酸(Gly)   | 7.39±0.98 <sup>a</sup>     | 7.83±0.45 <sup>a</sup>     | 6.72±0.36 <sup>a</sup>     |
| 5  | 组氨酸(His)   | 175.59±6.91 <sup>a</sup>   | 22.70±1.23 <sup>c</sup>    | 42.41±2.01 <sup>b</sup>    |
| 6  | 精氨酸(Arg)   | 74.55±3.65 <sup>a</sup>    | 53.50±2.41 <sup>b</sup>    | 46.12±3.32 <sup>c</sup>    |
| 7  | 苏氨酸(Thr)   | 63.91±2.01 <sup>a</sup>    | 25.99±1.97 <sup>b</sup>    | 18.25±0.98 <sup>c</sup>    |
| 8  | 丙氨酸(Ala)   | 64.32±2.13 <sup>a</sup>    | —                          | 21.24±1.32 <sup>b</sup>    |
| 9  | 脯氨酸(Pro)   | 807.61±23.67 <sup>b</sup>  | 942.05±50.53 <sup>a</sup>  | 902.23±34.17 <sup>a</sup>  |
| 10 | 酪氨酸(Tyr)   | 41.06±1.34 <sup>c</sup>    | 154.40±6.26 <sup>a</sup>   | 102.15±5.81 <sup>b</sup>   |
| 11 | 缬氨酸(Val)   | 32.25±1.25 <sup>a</sup>    | 22.51±1.93 <sup>c</sup>    | 26.29±1.28 <sup>b</sup>    |
| 12 | 蛋氨酸(Met)   | 18.95±1.34 <sup>a</sup>    | 18.42±1.37 <sup>a</sup>    | 16.24±1.02 <sup>a</sup>    |
| 13 | 胱氨酸(Cys)   | 138.68±6.78 <sup>a</sup>   | 97.32±3.20 <sup>b</sup>    | 87.42±5.24 <sup>b</sup>    |
| 14 | 异亮氨酸(Ile)  | 20.25±2.45 <sup>a</sup>    | 18.70±1.62 <sup>a</sup>    | 15.78±1.22 <sup>a</sup>    |
| 15 | 亮氨酸(Leu)   | 142.29±3.69 <sup>a</sup>   | 71.20±2.58 <sup>b</sup>    | 78.27±4.28 <sup>b</sup>    |
| 16 | 苯丙氨酸(Phe)  | 19.50±1.98 <sup>a</sup>    | 18.93±1.73 <sup>a</sup>    | 6.78±0.41 <sup>b</sup>     |
| 17 | 赖氨酸(Lys)   | 12.40±1.02 <sup>a</sup>    | 12.19±1.29 <sup>a</sup>    | 9.17±0.63 <sup>b</sup>     |
|    | 总计         | 1786.80±66.40 <sup>a</sup> | 1548.26±83.51 <sup>b</sup> | 1505.71±66.98 <sup>b</sup> |

注: 同列不同字母表示差异显著( $P<0.05$ ), —为未检出。

组织中的营养物质作为氮源和糖源促进了自身增殖,间接地增加了部分氨基酸的消耗<sup>[25]</sup>。少部分氨基酸,包括丝氨酸、脯氨酸以及酪氨酸在发酵之后的发酵型猕猴桃红茶酒中含量有所增加,推测原因可能是酵母菌在生长代谢中,部分相关生化反应促进了这几种氨基酸的释放。发酵型猕猴桃红茶酒中缬氨酸含量显著低于猕猴桃酒( $P<0.05$ ),且作为支链氨基酸的缬氨酸在酒精发酵过程中是生成挥发性香气的重要前体物质<sup>[26]</sup>,故发酵型猕猴桃红茶酒可能会含有更多的挥发性香气物质。

2.4 发酵型猕猴桃红茶酒风味分析

2.4.1 风味物质构成 由表 4 所示,三组样品的挥发性物质共检出 26 种,主要分为 5 类(酯类、醇类、烷类、醛类、酸类),其中种类与含量最多的为酯类物质;猕猴桃茶汁组共 4 种,总量为 490.67±13.81 μg/L;发酵型猕猴桃红茶酒组共 24 种,总量为 6831.55±97.31 μg/L;猕猴桃酒组共 17 种,总量为 5411.25±44.04 μg/L。猕猴桃茶汁经发酵后,诸如酯类、醇类等挥发性物质含量和种类显著提升( $P<0.05$ ),表明果酒中的主要风味物质大部分来源于发酵阶段,赋予果酒沁人心脾的花果香<sup>[27]</sup>。

表 4 发酵型猕猴桃红茶酒挥发性物质含量  
Table 4 Content of volatile substances in fermented kiwifruit black tea wine

| 类别 | 序号  | 保留指数 | 挥发性物质    | 质量浓度(μg/L)                |                            |                            | 香气描述 <sup>[38-41]</sup> |
|----|-----|------|----------|---------------------------|----------------------------|----------------------------|-------------------------|
|    |     |      |          | 猕猴桃茶汁                     | 发酵型猕猴桃红茶酒                  | 猕猴桃酒                       |                         |
| 酯类 | A1  | 1044 | 丁酸乙酯     | 67.32±2.13 <sup>c</sup>   | 320.23±2.51 <sup>a</sup>   | 102.11±2.97 <sup>b</sup>   | 黄油、奶酪香                  |
|    | A2  | 979  | 丁酸甲酯     | —                         | 24.42±1.34                 | —                          | 苹果、草莓香                  |
|    | A3  | 1181 | 己酸甲酯     | —                         | 61.89±10.96                | —                          | 菠萝香                     |
|    | A4  | 1246 | 己酸乙酯     | 206.14±3.01 <sup>b</sup>  | 453.75±16.36 <sup>a</sup>  | 462.53±12.18 <sup>a</sup>  | 白兰地、过熟水果香               |
|    | A5  | 1441 | 辛酸乙酯     | —                         | 1421.75±3.23 <sup>b</sup>  | 1690.24±4.28 <sup>a</sup>  | 杏、花香                    |
|    | A6  | 1643 | 癸酸乙酯     | —                         | 615.54±5.64 <sup>a</sup>   | 408.42±3.19 <sup>b</sup>   | 葡萄、梨香                   |
|    | A7  | 887  | 乙酸乙酯     | —                         | 224.42±4.34 <sup>b</sup>   | 367.83±2.25 <sup>a</sup>   | 白兰地、葡萄香                 |
|    | A8  | 1276 | 乙酸己酯     | —                         | —                          | 370.23±2.34                | 草本、香蕉香                  |
|    | A9  | 1826 | 乙酸苯乙酯    | —                         | 111.32±0.58 <sup>b</sup>   | 270.00±4.18 <sup>a</sup>   | 蜂蜜、玫瑰香                  |
|    | A10 | 1856 | 月桂酸乙酯    | —                         | 5.94±0.41 <sup>a</sup>     | 5.76±0.38 <sup>a</sup>     | 花香                      |
|    | A11 | 2258 | 十六酸乙酯    | 89.52±5.21 <sup>b</sup>   | 190.32±2.36 <sup>a</sup>   | —                          | 蜡香                      |
|    | A12 | 1160 | 丁酸异丁酯    | 127.69±3.46 <sup>b</sup>  | 234.00±7.46 <sup>a</sup>   | —                          | 菠萝、朗姆酒香                 |
|    | A13 | 1650 | 苯甲酸乙酯    | —                         | 9.33±0.67                  | —                          | 甘菊、芹菜香                  |
|    | A14 | 1126 | 乙酸异戊酯    | —                         | 100.23±4.96 <sup>b</sup>   | 120.78±3.79 <sup>a</sup>   | 苹果、香蕉香                  |
| 醇类 |     |      | 酯类总量     | 490.67±13.81 <sup>b</sup> | 3773.14±60.82 <sup>a</sup> | 3797.90±35.56 <sup>a</sup> |                         |
|    | B1  | 1211 | 异戊醇      | —                         | 39.96±0.87                 | —                          | 可可、麦芽香                  |
|    | B2  | 1922 | 苯乙醇      | —                         | 821.21±3.65 <sup>a</sup>   | 458.23±2.28 <sup>b</sup>   | 蜂蜜、葡萄酒香                 |
|    | B3  | 1092 | 异丁醇      | —                         | 202.12±1.11                | —                          | 可可、苹果香                  |
|    | B4  | 1359 | 正己醇      | —                         | 986.13±4.01 <sup>a</sup>   | 356.61±1.78 <sup>b</sup>   | 香蕉、草本香                  |
|    | B5  | 1545 | 2,3-丁二醇  | —                         | 20.65±0.73 <sup>b</sup>    | 229.98±1.23 <sup>a</sup>   | 水果、奶油香                  |
| 烷类 |     |      | 醇类总量     | —                         | 2070.07±10.37 <sup>a</sup> | 1044.82±5.29 <sup>b</sup>  |                         |
|    | C1  | 1176 | 十甲基环五硅氧烷 | —                         | 56.02±4.21                 | —                          | /                       |
|    |     |      | 烷类总量     | —                         | 56.02±4.21                 | —                          |                         |
|    | D1  | 714  | 乙醛       | —                         | 23.32±0.12 <sup>b</sup>    | 57.23±0.42 <sup>a</sup>    | 青苹果、花香                  |
| 醛类 | D2  | 1508 | 苯甲醛      | —                         | 7.32±0.45                  | —                          | 杏仁、果香                   |
|    | D3  | 1498 | 癸醛       | —                         | —                          | 18.12±0.05                 | 花果香                     |
|    |     |      | 醛类总量     | —                         | 30.64±0.57 <sup>b</sup>    | 75.35±0.47 <sup>a</sup>    |                         |

续表 4

| 类别 | 序号 | 保留指数 | 挥发性物质 | 质量浓度(μg/L)                |                            |                            | 香气描述 <sup>[38-41]</sup> |
|----|----|------|-------|---------------------------|----------------------------|----------------------------|-------------------------|
|    |    |      |       | 猕猴桃茶汁                     | 发酵型猕猴桃红茶酒                  | 猕猴桃酒                       |                         |
| 酸类 | E1 | 2086 | 辛酸    | —                         | 593.00±5.06 <sup>a</sup>   | 281.37±1.56 <sup>b</sup>   | 油脂香                     |
|    | E2 | 2281 | 癸酸    | —                         | 210.23±15.01 <sup>a</sup>  | 172.00±1.01 <sup>b</sup>   | 脂肪、草本香                  |
|    | E3 | 1849 | 正己酸   | —                         | 98.45±1.27 <sup>a</sup>    | 39.81±0.15 <sup>b</sup>    | 青草、奶酪香                  |
|    |    |      | 酸类总量  | —                         | 901.68±21.34 <sup>a</sup>  | 493.18±2.72 <sup>b</sup>   |                         |
|    |    |      | 总计    | 490.67±13.81 <sup>c</sup> | 6831.55±97.31 <sup>a</sup> | 5411.25±44.04 <sup>b</sup> |                         |

注: 同列不同字母表示差异显著( $P<0.05$ ), —为未检出, /表示未查找到相关信息。

酯类物质对于果酒的风味组成极为重要<sup>[28]</sup>, 且绝大部分都来自于酵母发酵阶段的酯化反应<sup>[29]</sup>。发酵型猕猴桃红茶酒与猕猴桃酒的总酯含量无显著性差异( $P>0.05$ ), 两者的主要香气物质都是辛酸乙酯(杏、花香)、己酸乙酯(白兰地、过熟水果香)和癸酸乙酯(葡萄、梨香), 整体呈现水果的香甜味, 这与王胜利<sup>[30]</sup>的研究结果相同。对比两者的其他酯类物质含量后发现, 发酵型猕猴桃红茶酒含有猕猴桃果酒中不存在的丁酸甲酯(苹果、草莓香)、己酸甲酯(菠萝香)、十六酸乙酯(微弱蜡香)、丁酸异丁酯(菠萝、朗姆酒香)和苯甲酸乙酯(甘菊、芹菜香), 赋予前者更加复合、怡人的香气, LING 等<sup>[31]</sup>研究表示大量的酚类物质会抑制丙酮酸和乙醛衍生的花青素衍生物, 从而促进酯的形成, 这与本研究结果一致。

相较于猕猴桃酒中检测出的三种醇类物质, 发酵型猕猴桃红茶酒中还额外检测出了异戊醇与异丁醇, 这两者均属于高级醇, 导致这种情况的原因可能是猕猴桃茶汁中丰富的氨基酸经氨基酸合成代谢途径(Harris 途径)和氨基酸分解代谢途径(Ehrlich 途径)生成了这些高级醇<sup>[32]</sup>。适量的高级醇可以使酒体更加饱满, 而其含量过高(大于 2000 mg/L)可能会对人体神经系统造成伤害<sup>[33]</sup>, 相关研究认为若高级醇总量低于 300 mg/L, 则可促进果酒的呈香<sup>[34]</sup>, 由此可见发酵型猕猴桃红茶酒中的高级醇并不会对人体或风味造成不良影响。苯乙醇具有独特的蜂蜜香、玫瑰花香。发酵型猕猴桃红茶酒中的苯乙醇含量为 821.21±3.65 μg/L, 占其醇类化合物的 39.67%, 是发酵型猕猴桃红茶酒的主要醇类物质, 这与前人得出的研究结论一致<sup>[35]</sup>, 且显著高于猕猴桃酒( $P<0.05$ ), 说明该酒样玫瑰花香和蜂蜜香更为突出。

发酵型猕猴桃红茶酒与猕猴桃酒中共检测辛酸、癸酸和正己酸 3 种酸类物质。发酵型猕猴桃红茶酒中的辛酸含量最高为 593.00±5.06 μg/L, 显著高于其在猕猴桃酒中的 281.37±1.56 μg/L( $P<0.05$ ); 辛酸具有丰富的水果香、焦糖味等多种香气, 对发酵型猕猴桃红茶酒的香气组成起到了不可或缺的作用; 癸酸则为酒体提供了独特的脂肪风味<sup>[36]</sup>。整体来看, 发酵型猕猴桃红茶酒中的酸类物质比猕猴桃酒高出了 82.83%, 可能是由于红茶中大量的酚类物质影响了酵母菌的代谢, 从而造成了酸类物质的积聚<sup>[37]</sup>, 使其

风味层次更优于猕猴桃酒。

2.4.2 发酵型猕猴桃红茶酒特征香气成分分析 为进一步探究各类香气成分对发酵型猕猴桃红茶酒品质的影响, 对三组样品挥发性物质的 ROAV 进行计算, ROAV 是评价挥发性物质对酒的香气感官贡献的常用方法<sup>[42]</sup>。研究表明 ROAV 值越高, 说明该物质对整体气味贡献度越大。ROAV ≥ 1 则表明该物质可判定为特征性香气成分, 对整体风味的贡献度较大; 0.1 < ROAV < 1 则表明物质对整体风味的呈现具有修饰作用; 当 ROAV < 0.1 则说明该物质对整体风味呈现的作用较小<sup>[43]</sup>。由表 5 可知, 发酵型猕猴桃红茶酒的理论特征香气物质分别为: 己酸乙酯、丁酸乙酯、丁酸甲酯、乙酸异戊酯、乙醛、癸酸乙酯、辛酸乙酯、己酸甲酯、辛酸、乙酸苯乙酯。其中大部分酯类 ROAV 值较大, 发酵型猕猴桃红茶酒的特征香气物质主要是酯类。从 ROAV 值大小来看, 己酸乙酯和丁酸乙酯是发酵型猕猴桃红茶酒中的重要香气物质, 分别呈现出白兰地、过熟水果香和黄油、奶酪香, 这与陈红梅等<sup>[44]</sup>的研究结果一致。相较于发酵前, 发酵型猕猴桃红茶酒中新增了 8 种特征香气物质。与猕猴桃酒相比, 两者的特征差异风味物质为丁酸甲酯、己酸甲酯和辛酸。由此可见, 发酵型猕猴桃红茶酒风味不仅符合传统猕猴桃酒果香浓郁、酯香突出的特征, 还具有轻微的油脂香, 总体风味特征丰富于

表 5 发酵型猕猴桃红茶酒特征香气成分 ROAV 分析结果  
Table 5 ROAV analysis of characteristic aroma components of fermented kiwi black tea wine

| 挥发性物质 | 阈值<br>(μg/L) <sup>[45-49]</sup> | ROAV  |           |       |
|-------|---------------------------------|-------|-----------|-------|
|       |                                 | 猕猴桃茶汁 | 发酵型猕猴桃红茶酒 | 猕猴桃酒  |
| 丁酸乙酯  | 20                              | 22.86 | 49.40     | 15.45 |
| 丁酸甲酯  | 7.1                             | —     | 10.61     | —     |
| 己酸甲酯  | 41                              | —     | 4.66      | —     |
| 己酸乙酯  | 14                              | 100   | 100       | 100   |
| 辛酸乙酯  | 580                             | —     | 7.56      | 8.82  |
| 癸酸乙酯  | 200                             | —     | 9.50      | 6.18  |
| 乙酸苯乙酯 | 250                             | —     | 1.37      | 3.27  |
| 乙酸异戊酯 | 30                              | —     | 10.31     | 12.19 |
| 乙醛    | 7.1                             | —     | 10.13     | 24.40 |
| 癸醛    | 10                              | —     | —         | 5.48  |
| 辛酸    | 500                             | —     | 3.66      | 0.17  |

注: —为未检出。

猕猴桃酒。

2.4.3 挥发性物质主成分分析 将 2.4.1 中得到的三组样品的挥发性香气物质进行主成分分析(Principal Component Analysis, PCA)(图 3), PC1、PC2 的贡献率和特征值见表 6。PC1 的贡献率为 42.1%, PC2 的贡献率为 32.6%, 累计贡献率达到了 74.7%, 说明这两个主成分能较为客观的反映样品香气的绝大部分信息。载荷图中各指标的距离远近表示各自的相关性大小, 由图 3 可知, 三组样品的主要香气成分有显著差异( $P<0.05$ ); 猕猴桃茶汁组主要位于第 3 象限; 发酵型猕猴桃红茶酒组香气成分主要位于第 1 象限; 猕猴桃酒香气成分主要位于第 4 象限。总体来看发酵型猕猴桃红茶酒发酵前后香气成分有明显区别, 发酵型猕猴桃红茶酒与多种香气成分相关, 风味更加丰富多样。

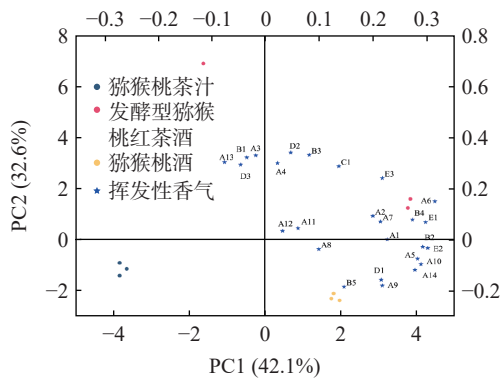


图 3 发酵型猕猴桃红茶酒挥发性香气 PCA 载荷图  
Fig.3 Principal component analysis plot of fermented kiwi black tea wine volatile aroma

表 6 主成分的特征值及贡献率  
Table 6 Characteristic values and contribution rates of principal components

| 主成分 | 特征值   | 贡献率(%) | 累计贡献率(%) |
|-----|-------|--------|----------|
| 1   | 10.95 | 42.1   | 42.1     |
| 2   | 8.48  | 32.6   | 74.7     |

2.5 电子鼻分析结果

将未发酵的猕猴桃茶汁、发酵后的发酵型猕猴桃红茶酒和猕猴桃果酒进行电子鼻测定分析。提取三组对应的 14 个传感器响应值制作气味雷达图(图 4)。相比于未发酵的猕猴桃茶汁组, S1、S2、S4、S5 和 S11 探头对发酵型猕猴桃红茶酒响应强度较大, 结果表明发酵之后会增加酒体中硫化物的生成, 以及芳香类化合物的产生。与未发酵猕猴桃茶汁组相比, S11(芳香族化合物)和 S13(甾醇、三萜)对发酵后发酵型猕猴桃红茶酒与猕猴桃果酒响应较强, 其中 S11 对单一猕猴桃果酒响应最强, 对未发酵猕猴桃茶汁组响应最低, 表明经酵母发酵后发酵型猕猴桃红茶酒与猕猴桃果酒有利于芳香族等香气化化合物的形成, 这与前面气相色谱测定挥发性物质结果一致。发酵型猕猴桃红茶酒组中 S2(硫化氢、硫)和

S12(硫化物)的响应值均低于猕猴桃酒组, 这一点也在刁体伟等<sup>[50]</sup> 研究中得到了印证, 即茶多酚类物质可能会抑制硫化物的生成, 减少酒体中不愉悦气味。

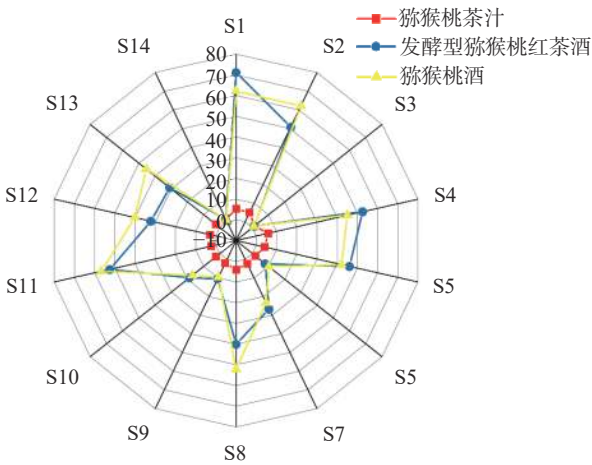


图 4 发酵型猕猴桃红茶酒电子鼻测定响应值雷达图  
Fig.4 Radar map of response value of fermented kiwifruit black tea wine by electronic nose

2.6 发酵型猕猴桃红茶酒感官评价

基于人的嗅觉、视觉、味觉等对果酒进行感官评价, 从而判断酒体色泽、风味、口感、质地等, 进而全方面分析果酒的品质。本研究通过发酵前的猕猴桃红茶汁与发酵型猕猴桃红茶酒、猕猴桃果酒进行感官分析, 结果如表 7 所示。可以得出如下结论: 发酵型猕猴桃红茶酒感官评价总分高于未发酵的猕猴桃红茶汁与猕猴桃果酒, 且发酵型猕猴桃红茶酒感官评价总分达到了 84.1 分; 香气方面, 发酵型猕猴桃红茶酒得分达到了 25.1; 口感方面, 发酵型猕猴桃红茶酒得分更高, 高达 25.4, 发酵前的猕猴桃茶汁口感偏酸。发酵型猕猴桃红茶酒相较于猕猴桃果酒香气更加丰富, 发酵前后发酵型猕猴桃红茶酒与单一的猕猴桃果酒的色泽差异不大; 质地方面, 发酵型猕猴桃红茶酒比未发酵猕猴桃红茶汁更好。综上, 发酵型猕猴桃红茶酒的品质更优。

表 7 感官评价结果  
Table 7 Sensory evaluation score sheet

| 组别        | 各项评价得分 |      |      |      | 总分   |
|-----------|--------|------|------|------|------|
|           | 香气     | 口感   | 色泽   | 质地   |      |
| 猕猴桃茶汁     | 21.9   | 17.8 | 15.3 | 14.9 | 69.9 |
| 发酵型猕猴桃红茶酒 | 25.1   | 25.4 | 16.1 | 17.5 | 84.1 |
| 猕猴桃果酒     | 22.3   | 24.1 | 15.6 | 16.7 | 78.7 |

3 结论

本试验通过有机酸含量、单体酚含量、氨基酸含量、挥发性物质及感官特性等指标综合分析了发酵型猕猴桃红茶酒的风味与品质, 并与猕猴桃茶汁、猕猴桃酒对比。结果表明: 猕猴桃茶汁经发酵后, 单体酚、挥发性物质种类及含量显著增加( $P<0.05$ ), 风味和品质均有提升。发酵型猕猴桃红茶酒与猕猴桃酒

相比,前者的琥珀酸含量显著高于后者( $P<0.05$ ),有利于酯类物质的形成;前者单体酚总量显著高出后者 22.17%( $P>0.05$ ),发酵型猕猴桃红茶酒主要单体酚是咖啡酸、表儿茶素和儿茶素;发酵型猕猴桃红茶酒中共检出 24 种挥发性物质,猕猴桃酒中共检出 17 种,前者挥发性物质总量高出后者 26.25%,风味层次更加丰富多样;结合 ROAV 分析后发现,发酵型猕猴桃红茶酒的特征香气物质主要是酯类,相比于猕猴桃酒,两者的特征差异风味物质为丁酸甲酯、己酸甲酯和辛酸;进一步通过电子鼻分析以及感官分析后发现,发酵型猕猴桃红茶酒表现出更好的风味感官特征。综合表明:发酵型猕猴桃红茶酒风味不仅符合传统猕猴桃酒果香浓郁、酯香突出的特征,还具有轻微的油脂、坚果香,总体风味特征丰富于猕猴桃酒,具有良好的开发潜力。

© The Author(s) 2024. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

### 参考文献

- [1] 赵小月,徐怀德,杨荣香.绿茶酒发酵工艺优化及主要成分变化分析[J].食品科学,2014,35(5):169-75. [ZHAO X Y, XU H D, YANG R X. Optimization of fermentation conditions of green tea wine and changes in its main components during fermentation[J]. Food Science, 2014, 35(5): 169-75.]
- [2] LIANG Z, ZHANG P, MA W, et al. Physicochemical properties, antioxidant activities and comprehensive phenolic profiles of tea-macerated Chardonnay wine and model wine[J]. Food Chemistry, 2024, 436: 137748.
- [3] 刘蒙佳,周强,陈淑娣.番石榴汁茶酒的发酵工艺研究[J].茶叶科学,2014,34(1):21-28. [LIU M J, ZHOU Q, CHEN S D. Study on fermentation technology of tea wine with guava juice[J]. Journal of Tea Science, 2014, 34(1): 21-28.]
- [4] 周平,邓杰,卫春会,等.发酵型葡萄绿茶酒生产工艺研究[J].中国酿造,2016,35(11):186-191. [ZHOU P, DENG J, WEI C H, et al. Research on production techniques of fermented grape green tea wine[J]. China Brewing, 2016, 35(11): 186-191.]
- [5] KUMAR V, JOSHI V K, THAKUR N, et al. Bioprocess optimization for production of apple tea wine: Influence of different variables on the quality attributes[J]. Journal of Food Measurement and Characterization, 2022, 16(2): 1528-1539.
- [6] 倪慧,李华佳,李可,等.高效液相色谱法测定猕猴桃酒中 4 种有机酸含量[J].食品研究与开发,2019,40(12):205-211. [NI H, LI H J, LI K, et al. The content of 4 kinds of organic acids in kiwi wine determined by HPLC[J]. Food Research and Development, 2019, 40(12): 205-211.]
- [7] 黄莹捷,朱裕德,覃小玲,等.猕猴桃茶酒的发酵工艺研究[J].食品研究与开发,2020,41(15):117-123. [HUANG Y J, ZHU Y D, QIN X L, et al. Study on fermentation technology of kiwifruit tea wine[J]. Food Research and Development, 2020, 41(15): 117-123.]
- [8] 魏鑫,杜勇,赖晓琴,等.猕猴桃茶酒工艺条件优化及抗氧化活性分析[J].食品研究与开发,2022,43(23):91-97. [WEI X, DU Y, LAI X Q, et al. Processing condition optimization and antioxidant activity determination of kiwifruit Tea Wine[J]. Food Research and Development, 2022, 43(23): 91-97.]
- [9] 杨建飞,左勇,马懿,等.宜宾芽菜拌盐干腌过程中的主要成分变化及其与亚硝酸盐含量变化的相关性分析[J].食品与发酵工业,2020,46(20):107-113. [YANG J F, ZUO Y, MA Y, et al. Changes of main components and their correlation with the changes of nitrite content in Yibin sprouts during the salt-adding fermentation[J]. Food and Fermentation Industries, 2020, 46(20): 107-113.]
- [10] VALERO-CASES E, NUNCIO-JAUREGUI N, FRUTOS M J. Influence of fermentation with different lactic acid bacteria and *in vitro* digestion on the biotransformation of phenolic compounds in fermented pomegranate juices[J]. J Agric Food Chem, 2017, 65(31): 6488-6496.
- [11] CALULL M, FÁBREGAS J, MARCÉ R, et al. Determination of free amino acids by precolumn derivatization with phenylisothiocyanate. Application to wine samples[J]. Chromatographia, 1991, 31: 272-276.
- [12] 陈晓娟,刁体伟,赖晓琴,等.不同酿造阶段添加富含谷胱甘肽酵母衍生物对梨酒品质的影响[J].食品科学,2023,44(6):134-142. [CHEN X J, DIAO T W, LAI X Q, et al. Effect of addition of glutathione-enriched inactive dry yeast at different stages of brewing on the quality of pear wine[J]. Food Science, 2023, 44(6): 134-142.]
- [13] 张清安,徐博文,陈博宇,等.超声降低红酒中高级醇含量对酒体风味特性的影响[J].中国农业科学,2021,54(8):1772-1786. [ZHANG Q A, XU B W, CHEN B Y, et al. Changes of wine flavor properties from the decreased higher alcohols induced by ultrasound irradiation[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2021, 54(8): 1772-1786.]
- [14] 徐俊南.还原型谷胱甘肽对苹果酒品质特性及酿酒酵母生长的影响研究[D].杨凌:西北农林科技大学,2019. [XU J N. Effect of glutathione on the quality characteristics of apple wine and the growth of *Saccharomyces cerevisiae*[D]. Yangling: Northwest A&F University, 2019.]
- [15] WEI J, ZHANG Y, YUAN Y, et al. Characteristic fruit wine production via reciprocal selection of juice and non-*Saccharomyces* species[J]. Food Microbiol, 2019, 79: 66-74.
- [16] CONTRERAS A, HIDALGO C, SCHMIDT S, et al. The application of non-*Saccharomyces* yeast in fermentations with limited aeration as a strategy for the production of wine with reduced alcohol content[J]. Int J Food Microbiol, 2015, 205: 7-15.
- [17] YE M, YUE T, YUAN Y. Effects of sequential mixed cultures of *Wickerhamomyces anomalus* and *Saccharomyces cerevisiae* on apple cider fermentation[J]. FEMS Yeast Res, 2014, 14(6): 873-882.
- [18] 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. [SHEN Y, LIU X Y, BAI W D, et al. Study on organic acids in fruit wine and their effects on fruit wine[J]. China Brewing, 2012, 31(2): 29-32.]
- [19] BAROŇ M, FIALA J. Chasing after minerality, relationship to yeasts nutritional stress and succinic acid production[J]. Czech Journal of Food Sciences, 2012, 30(2): 188-193.
- [20] 王丽,许奇,徐顺,等.茶多酚对微生物生长影响的研究进展[J].现代食品科技,2013,29(7):1737-1741. [WANG L, XU Q, XU S, et al. Research progress of tea polyphenols on microbial growth[J]. Modern Food Science and Technology, 2013, 29(7):

1737–1741.]

[21] KALLITHRAKA S, SALACHA M, TZOUROU I. Changes in phenolic composition and antioxidant activity of white wine during bottle storage: Accelerated browning test versus bottle storage [J]. *Food Chemistry*, 2009, 113(2): 500–505.

[22] GUTIÉRREZ-ESCOBAR R, ALIAÑO-GONZÁLEZ M J, CANTOS-VILLAR E. Wine polyphenol content and its influence on wine quality and properties: A review[J]. *Molecules*, 2021, 26(3): 718.

[23] ARCENA M R, LEONG S Y, HOCHBERG M, et al. Evolution of volatile and phenolic compounds during bottle storage of merlot wines vinified using pulsed electric fields-treated grapes[J]. *Foods*, 2020, 9(4): 443.

[24] HUR S J, LEE S Y, KIM Y-C, et al. Effect of fermentation on the antioxidant activity in plant-based foods[J]. *Food Chemistry*, 2014, 160: 346–356.

[25] 张瑾, 王国栋, 惠竹梅. 模拟葡萄汁中添加可同化氮对酵母菌酒精发酵的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2010, 38(3): 160–166, 172. [ZHANG J, WANG G D, HUI Z M. Effect of assimilable nitrogen in simulated grape juice on alcohol fermentation of yeast[J]. *Journal of Northwest A&F University (Natural Science Edition)*, 2010, 38(3): 160–166, 172.]

[26] 胡仲秋. 苹果酒酵母 BAT2 基因和支链氨基酸代谢对香气形成的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2016. [HU Z Q. Effects of BAT2 gene and branched-chain amino acid metabolism on aroma formation of cider yeast[D]. Yangling: Northwest A&F University, 2016.]

[27] 张杰, 赵洋溢, 林静, 等. 蓝莓果酒主发酵工艺参数优化及其品质分析[J]. 江西农业大学学报, 2022, 44(3): 690–705. [ZHANG J, ZHAO Y Y, LIN J, et al. Optimization of main fermentation parameters and quality analysis of blueberry wine[J]. *Journal of Jiangxi Agricultural University*, 2022, 44(3): 690–705.]

[28] YE M, YUE T, YUAN Y. Changes in the profile of volatile compounds and amino acids during cider fermentation using dessert variety of apples[J]. *European Food Research and Technology*, 2014, 239: 67–77.

[29] CAI J, ZHU B Q, WANG Y H, et al. Influence of pre-fermentation cold maceration treatment on aroma compounds of Cabernet Sauvignon wines fermented in different industrial scale fermenters[J]. *Food Chemistry*, 2014, 154: 217–229.

[30] 王胜利. 猕猴桃酒中多酚、抗氧化性及香气成分的研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2013. [WANG S L. Study on polyphenols, antioxidant properties and aroma components in kiwi wine[D]. Yangling: Northwest A&F University, 2013.]

[31] LING M, QI M, LI S, et al. The influence of polyphenol supplementation on ester formation during red wine alcoholic fermentation[J]. *Food Chemistry*, 2022, 377: 131961.

[32] 黄桂东, 徐珊珊, 刘惠, 等. 降黄酒高级醇无机氮源的筛选[J]. 食品与生物技术学报, 2018, 37(1): 82–87. [HUANG G D, XU S S, LIU H, et al. Screening of inorganic nitrogen sources for high alcohols in rice wine[J]. *Chinese Journal of Food and Biotechnology*, 2018, 37(1): 82–87.]

[33] 袁国亿, 何宇淋, 王春晓, 等. 米酒风味品质形成相关因素的研究进展[J]. 食品与发酵工业, 2022, 48(9): 286–294. [YUAN G Y, HE Y L, WANG C X, et al. Research progress on related factors of rice wine flavor quality[J]. *Food and Fermentation Industry*, 2022, 48(9): 286–294.]

[34] 卢丽娟, 钟瑶, 秦义. 可同化氮源磷酸氢二铵对发酵型猕猴桃酒品质的影响[J]. *食品科学*, 2022, 43(14): 256–263. [LU L J, ZHONG Y, QIN Y. Effects of assimilable nitrogen source diammonium hydrogen phosphate on the quality of fermented kiwis wine[J]. *Food Science*, 2022, 43(14): 256–263.]

[35] 赵宁, 魏新元, 樊明涛, 等. SPME-GC-MS 结合电子鼻技术分析不同品种猕猴桃酒香气物质[J]. 食品科学, 2019, 40(22): 249–255. [ZHAO N, WEI X Y, FAN M T, et al. Analysis of aroma substances in different varieties of Kiwi wine by SPME-GC-MS combined with electronic nose technique[J]. *Food Science*, 2019, 40(22): 249–255.]

[36] 盖禹含, 辛秀兰, 杨国伟, 等. 不同酵母发酵的蓝莓酒香气成分 GC-MS 分析[J]. 食品科学, 2010, 31(4): 171–174. [GAI Y H, XIN X L, YANG G W, et al. Analysis of aroma components of blueberry wine fermented by different yeasts by GC-MS[J]. *Food Science*, 2010, 31(4): 171–174.]

[37] 于立梅, 刘俊梅, 冯卫华, 等. 山竹酒发酵过程中活性成分变化及成品香气分析[J]. 现代食品科技, 2014, 30(5): 287–291, 296. [YU L M, LIU J M, FENG W H, et al. Change of active ingredients and aroma analysis of mangosteen wine during fermentation [J]. *Modern Food Science and Technology*, 2014, 30(5): 287–291, 296.]

[38] 李曼祎, 张亚萌, 刘春风, 等. 枸杞果酒发酵工艺优化及香气成分分析[J]. 安徽农业大学学报, 2021, 48(5): 865–872. [LI M Y, ZHANG Y M, LIU C F, et al. Fermentation process optimization and aroma composition analysis of wolfberry fruit wine[J]. *Journal of Anhui Agricultural University*, 2021, 48(5): 865–872.]

[39] 马烁, 赵华. 不同发酵工艺对香水梨酒品质指标及香气成分的影响[J]. 中国酿造, 2022, 41(11): 135–139. [MA S, ZHAO H. Effect of different fermentation process on quality indexes and aroma components of fragrant pear wine[J]. *China Brewing*, 2022, 41(11): 135–139.]

[40] 王丽, 李雪, 刘光宪, 等. 芦笋猕猴桃复合果酒发酵过程中挥发性香气物质的变化[J]. 食品工业科技, 2022, 43(13): 242–250. [WANG L, LI X, LIU G X, et al. Changes of volatile aroma substances in the fermentation process of asparagus kiwi fruit wine [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2022, 43(13): 242–250.]

[41] 张秀玲, 汲润, 李凤凤, 等. 发酵工艺对蓝靛果酒功能性及香气成分的影响[J]. 食品科学, 2022, 43(10): 189–198. [ZHANG X L, JI R, LI F F, et al. Effect of fermentation process on functional and aroma components of indigo wine[J]. *Food Science*, 2022, 43(10): 189–198.]

[42] MOYANO L, ZEA L, MORENO J, et al. Analytical study of aromatic series in sherry wines subjected to biological aging[J]. *Journal of Agricultural & Food Chemistry*, 2002, 50(25): 7356–7361.

[43] 李扬, 李妍, 李栋, 等. 基于 ROAV 和嗅闻技术分析乳脂的关键风味化合物[J]. 食品科学, 2023, 44(6): 262–267. [LI Y, LI Y, LI D, et al. Analysis of key flavor compounds in milk fat based on ROAV and sniff technique[J]. *Food Science*, 2023, 44(6): 262–267.]

[44] 陈红梅, 王沙沙, 尹何南, 等. 不同工艺处理对野生猕猴桃酒品质的影响[J]. 食品科学, 2018, 39(4): 233–240. [CHEN H M, WANG S S, YIN H N, et al. Effects of different processing processes on the quality of wild kiwi wine[J]. *Food Science*, 2018, 39(4): 233–240.]

- [45] 王蔚新. 酸鱼发酵过程中蛋白质降解及其风味形成机制研究[D]. 无锡: 江南大学, 2018. [WANG W X. Study on protein degradation and flavor formation mechanism of sour fish during fermentation[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2018. ]
- [46] 钟思彦, 徐玉娟, 余元善, 等. 酶解对香蕉果酒发酵前后风味的影响[J]. 食品工业科技, 2024, 45(3): 98-106. [ZHONG S Y, XU Y J, YU Y S, et al. Effect of enzymatic hydrolysis on flavor of banana fruit wine before and after fermentation[J]. Science and Technology of Food Industry, 2024, 45(3): 98-106. ]
- [47] 胡小琴, 刘伟, 许弯, 等. 不同酵母对脐橙果酒品质的影响[J]. 食品工业科技, 2021, 42(5): 1-10, 25. [HU X Q, LIU W, XU W, et al. Effects of different yeast on the quality of Navel orange wine[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(5): 1-10, 25. ]
- [48] 王轩, 周健, 明红梅, 等. 樱桃果酒酿酒酵母的筛选及香气成分分析[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(3): 124-130. [WANG X, ZHOU J, MING H M, et al. Screening and aroma analysis of *Saccharomyces Cerevisiae* in cherry fruit wine[J]. Food and Fermentation Industry, 2019, 46(3): 124-130. ]
- [49] LAN Y, GUO J, QIAN X, et al. Characterization of key odor-active compounds in sweet Petit Manseng (*Vitis vinifera* L.) wine by gas chromatography-olfactometry, aroma reconstitution, and omission tests[J]. *Journal of Food Science*, 2021, 86(4): 1258-1272.
- [50] 刁体伟, 陈晓蛟, 冷银江, 等. 植物源多酚对梨酒抗氧化能力及其感官品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2022, 48(23): 93-101. [DIAO T W, CHEN X J, LENG Y J, et al. Effects of plant-derived polyphenols on antioxidant capacity and sensory quality of pear wine[J]. Food and Fermentation Industry, 2022, 48(23): 93-101. ]