

外碳源对猕猴桃酒品质及挥发性成分的影响

黄小兰¹ 何旭峰¹ 熊 双^{1,2} 张椿翊¹ 郑 容¹

(1. 重庆市万州食品药品检验所, 重庆 404100; 2. 重庆三峡学院食品与生物工程学院, 重庆 404100)

摘要: [目的] 优化猕猴桃酒发酵工艺, 提升综合品质, 比较不同外碳源对其品质和挥发性成分的影响。[方法] 分别选用蔗糖、葡萄糖、麦芽糖、红糖、果葡糖浆、糯米和大米糖化液作为外碳源, 调整发酵液初始糖度为 23% 进行猕猴桃酒发酵, 测定生物量变化、酒精度、有机酸、单体酚、挥发性成分和感官特性等指标。[结果] 在主发酵阶段, 大米、糯米糖化液组发酵速度最快, 增加了奎宁酸、乳酸和酒石酸等有机酸含量, 降低了绿原酸、咖啡酸等单体酚含量; 麦芽糖组发酵速率最慢, 酒精度最低, 有机酸积累最少; 红糖组中单体酚总量最高, 其中没食子酸 (217.45 mg/L) 是所有组别中最高的单体酚类物质, 提高了抗氧化能力, 降低了甲醇含量。在挥发性成分方面, 7 种碳源发酵组共分离鉴定出 53 种挥发性成分, 醇类 (8.985 mg/kg) 和酯类 (1.625 mg/kg) 平均含量最高, 占比 71.1% 和 12.7%; 葡萄糖组和果葡糖浆组的挥发性成分总量最高, 麦芽糖组最低, 红糖组种类最多。[结论] 葡萄糖、蔗糖、果葡糖浆和红糖均可作为猕猴桃发酵的理想外碳源, 红糖可进一步挖掘应用。

关键词: 外碳源; 猕猴桃酒; 理化指标; 有机酸; 单体酚; 挥发性成分

Effects of external carbon sources on the quality and volatile components of kiwi wine

HUANG Xiaolan¹ HE Xufeng¹ XIONG Shuang^{1,2} ZHANG Chunyi¹ ZHENG Rong¹

(1. Chongqing Wanzhou Food and Drug Inspection Institute, Chongqing 404100, China; 2. Chongqing Three Gorges Medical College Traditional Chinese Medicine, Chongqing 404100, China)

Abstract: [Objective] In order to optimize the fermentation process of kiwi wine and improve its overall quality, the effects of different exogenous carbon on its quality and volatile components were compared. [Methods] Selected sucrose, glucose, maltose, brown sugar, high fructose corn syrup, glutinous rice and rice sacchacation solution as exogenous carbon, and adjusted the initial sugar content of fermentation solution to 23%. Biomass change, alcohol content, organic acid content, monomer phenol content, volatile components and sensory properties were measured. [Results] The fermentation rate of maltose group was the slowest, the alcohol content was the lowest, and the organic acid accumulation was the least. The total amount of monomer phenols in brown sugar group was the highest, among which gallic acid (217.45 mg/L) was the highest monomer phenolic substance in all groups, which improved the antioxidant capacity and reduced the methanol content. In terms of aroma, a total of 53 volatile components were isolated and identified in the seven carbon source fermentation groups, and the average contents of alcohols (8.985 mg/kg) and esters (1.625 mg/kg) were the highest, accounting for 71.1% and 12.7%. The total volatile components of glucose group and high fructose syrup group were the highest, maltose group was the lowest, and brown sugar group was the highest. [Conclusion] In summary, glucose, sucrose, high fructose corn syrup and brown sugar can be used as ideal external carbon sources for kiwi fermentation, and brown sugar can be further explored and applied.

Keywords: carbon sources; kiwi wine; physicochemical indexes; organic acid; phenolic acid; volatile components

猕猴桃又称奇异果, 盛产于河南、陕西秦岭等地, 在中国多个省市均有栽培, 具有抗氧化、抗衰老、增强免疫力、防治心血管疾病和助消化等功效^[1]。目前, 常见的水

果深加工品主要有果汁、果脯、果干、果酱和果酒等, 其中果酒在原料利用率、市场认可度和附加值方面表现更好, 将猕猴桃加工为果酒, 不仅能保留猕猴桃的营养, 还能利

基金项目: 南京市“科技三峡行”重庆万州区对口支援项目 (编号: 2022101S-01)

通信作者: 郑容 (1987—), 女, 重庆市万州食品药品检验所工程师, 硕士。E-mail: 1414896194@qq.com

收稿日期: 2024-02-19 **改回日期:** 2024-06-04

用发酵生成更多活性成分和风味物质^[2]。

目前国内外对猕猴桃酒的研究较多,特别是在原料筛选^[2]、前处理方式^[3]、菌种筛选^[4]、发酵工艺^[5]、降酸技术^[6]和澄清方法^[7]等方面取得了一定进展。但果酒发酵是系统工程,受发酵温度、发酵液 pH 值、菌种接种量、SO₂添加量、酶解条件和初始糖度等多种因素的影响。碳源是发酵过程中微生物生长代谢的主要营养物质,是决定乙醇含量的物质基础,同时影响果酒的甜酸滋味和口感^[8]。猕猴桃中糖分含量在 12%~16%^[2],需要额外添加碳源来保证发酵的顺利进行以及提高产品的乙醇含量。目前大部分研究者^[9]采用蔗糖(白砂糖)作为外碳源来调节发酵初始糖度,也有学者^[10]通过加入糯米或其糖化液来补充碳源。胡文彬等^[10]研究发现,添加黑糯米糖化液比添加蔗糖更有利于酵母菌的生长和酒精发酵,且能提高酒中香气物质的含量。由此表明,不同外碳源对猕猴桃酒的品质存在影响,但目前国内外对于添加其他外碳源的研究却相对缺乏。

研究拟以红心猕猴桃为原料,分别添加 7 种常见外碳源(葡萄糖、麦芽糖、红糖、果葡糖浆、糯米糖化液和大米糖化液)来调节发酵液初始糖度。通过监测发酵过程中生物量变化,分析发酵结束后酒精度、总酸、总酚、甲醇、有机酸、单体酚、挥发性成分和感官等品质指标,综合比较添加不同外碳源对猕猴桃酒品质的影响,以期提升猕猴桃酒品质。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

红心猕猴桃:重庆市万州区铁峰山酒业有限公司;
蔗糖、葡萄糖、果葡糖浆、红糖、麦芽糖、大米、糯米:市售;

果酒酵母:安琪酵母股份有限公司;
酒石酸、奎宁酸、苹果酸、抗坏血酸、乳酸、乙酸、柠檬酸、丁二酸:优级纯,成都普思生物科技有限公司;
没食子酸、原儿茶酸、儿茶素、绿原酸、咖啡酸、表儿茶酸、对香豆酸、阿魏酸、芦丁:纯度均>99.5%,成都德斯特生物技术有限公司;

果胶酶:5 万 U/g,山东隆科特酶制剂有限公司;
偏重亚硫酸钾:分析纯,成都科龙化学试剂厂;
80 μm 膜厚的 Divinylbenzene/Carboxen/PDMS 顶空固相微萃取头:美国 Supelco 公司;

其他试剂均为国产分析纯。

1.2 仪器与设备

高效液相色谱仪:LC-20AT 型,日本岛津公司;
气相色谱-质谱联用仪:7000C 型,配 PAL3 自动进样平台,美国安捷伦公司;
双光束紫外可见分光光度计:TU-1901 型,北京普析

通用仪器有限责任公司;

密度计:DMA 4500M 型,安东帕(上海)商贸有限公司;

手持糖度计:DLX-SDJ1514 型,杭州德力西集团有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 大米、糯米糖化液的制备 分别取大米、糯米加温水,浸泡 12 h 后蒸熟,摊凉后按质量分数 0.4% 拌入甜酒曲,按米质量的 30% 加入纯净水,密封,于 28 °C 保温糖化 72 h,使用 120 目过滤袋过滤,收集糖化液,灭活处理,冷藏备用。

1.3.2 猕猴桃酒的制备 选取成熟软化、无腐烂的猕猴桃全果匀浆,按质量分数 0.025% 加入偏重亚硫酸钾,混合均匀放置 30 min,按质量分数 0.2% 加入果胶酶,搅拌均匀室温放置 24 h 后得猕猴桃果浆。再按 2:1 的质量比混合果浆和外碳源溶液(Brix 为 39%),按质量分数 0.02% 加入果酒酵母,混匀,装罐,于 20 °C 条件下密封发酵,以 48 h 内酒醪质量下降量小于 1 g 作为主发酵结束,过滤,收集滤液于 4 °C 陈酿 30 d 得猕猴桃酒成品。

1.3.3 理化指标测定

(1) 酸度:参照 QB/T 5476.3—2023《果酒 第 3 部分:猕猴桃酒》附录 A。

(2) pH 值、酒精度、还原糖:参照 GB/T 15038—2006《葡萄酒、果酒通用分析方法》。

(3) 总酚:采用福林酚法。

(4) 甲醇:参照 GB 5009.266—2016《食品安全国家标准 食品中甲醇的测定》。

1.3.4 有机酸测定 吸取 1.00 mL 猕猴桃酒于 10 mL 容量瓶中,用纯化水定容至刻度,混匀,过 0.22 μm 滤膜,参照 Liu 等^[11]的方法采用高效液相色谱(high-performance liquid chromatography, HPLC)法进行有机酸含量的测定。色谱条件:intersustain AQ-C₁₈ 色谱柱(4.6 mm×250 mm, 5 μm);柱温 35 °C;检测波长 210 nm;进样量 10 μL;流量 0.8 mL/min;流动相:A 为 0.05 mol/L 的磷酸氢二铵(用磷酸调 pH 值为 2.7),B 为甲醇;梯度洗脱:0~10.0 min, 98% A; 10.0~10.1 min, 98%~60% A; 10.1~18.0 min, 60% A; 18.0~18.1 min, 60%~98% A; 18.1~30.0 min, 98% A; 运行时间 30 min。

1.3.5 单体酚测定 吸取猕猴桃酒过 0.22 μm 滤膜,参照 Kebal 等^[12]的方法采用高效液相色谱法进行单体酚含量的测定。色谱条件:intersustain AQ-C₁₈ 色谱柱(4.6 mm×250 mm, 5 μm);柱温 40 °C;检测波长 210 nm;进样量 10 μL;流量 1.0 mL/min;流动相:A 为 0.1% 磷酸,B 为甲醇;梯度洗脱:0~10 min, 90%~85% A; 10~25 min, 85%~70% A; 25~30 min, 70%~30% A; 30~35 min, 30% A; 35~40 min, 30%~90% A; 40~45 min, 90% A; 运行时间

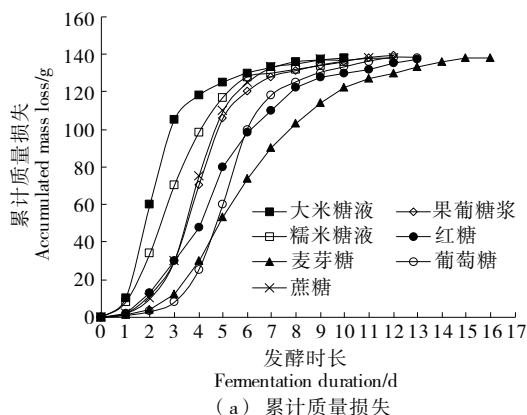
45 min。

1.3.6 挥发性成分测定 吸取5.000 g酒样于20 mL顶空瓶中,加入2.5 g氯化钠和30 μ L 2-辛醇内标溶液(200 μ g/mL),盖紧盖子,参照何旭峰等^[13]的方法采用HS-SPME-GCMS进行半定量分析。萃取条件:60 $^{\circ}$ C平衡30 min(500 r/min振摇),萃取头吸附20 min,进样口230 $^{\circ}$ C解析5 min。气相条件:DB-Heavy WAX色谱柱(50 m $\times$ 0.25 mm $\times$ 0.25 μ m),升温程序:40 $^{\circ}$ C(保持5 min),2.5 $^{\circ}$ C/min升温至100 $^{\circ}$ C(保持2 min),再以2.5 $^{\circ}$ C/min升温至200 $^{\circ}$ C保持1 min,最后以10 $^{\circ}$ C/min升温至250 $^{\circ}$ C保持5 min。质谱条件:离子源为EI源,全扫范围为10~550 (m/z)。

1.3.7 感官评价 参照GB/T 15038—2006,选择10位具有一定品酒知识和能力的人员组成感官评价小组,其中5名男生,5名女生,分别对猕猴桃酒的外观色泽(20分)、香气(30分)、滋味(40分)和典型性(10分)进行评分,取平均值。

1.4 数据处理

采用 MassHunter Worksttion Software Qualitative



Analysis(B.07.00 SP 2,美国安捷伦公司)分析气质数据,采用SPSS 20.0 进行方差分析,结果以3次重复处理的平均值士标准差表示。采用Origin 2021 进行折线图和柱状图的制作。

2 结果与分析

2.1 对猕猴桃酒发酵速率的影响

发酵过程中酵母分解糖类物质产生乙醇和二氧化碳,二氧化碳的散失使酒醪质量不断减少,所以监测发酵液质量变化可以了解发酵速率的快慢。由图1(a)可见,发酵前5 d不同糖类酒醪质量下降速率排序为大米糖液>糯米糖液>蔗糖、果葡糖浆>红糖>葡萄糖>麦芽糖,表明大米和糯米组在发酵初期酵母的增殖速度最快,呼吸作用最为活跃。由图1(b)可见,随着发酵时间的延长,单日酒醪质量减少量不再变化时,主发酵结束,大米糖液和糯米糖液主发酵时长最短为9 d,麦芽糖最长为15 d。大米和糯米糖液组整体的发酵效率最高,这是因为糖化液中不仅含有碳源,还保留了甜糖酒曲、大米和糯米中的氨基酸、蛋白质等氮源^[10]和其他营养物质,为酵母的快速增殖提供了条件。

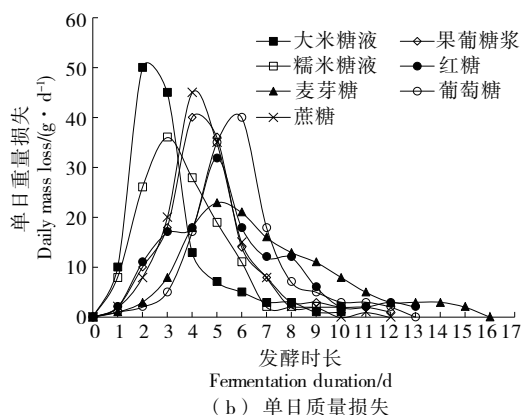


图1 不同碳源猕猴桃酒的发酵曲线

Figure 1 Fermentation curve of kiwi wine with different carbon sources

2.2 对猕猴桃酒基本理化指标的影响

如表1所示,主发酵结束后7组外碳源下的猕猴桃酒中酒精度在10.40%~13.16%vol,葡萄糖组和蔗糖组的最高,麦芽糖组的最低。酸度方面,除葡萄糖组和麦芽糖组略低外,其他组别无明显差异,均符合猕猴桃酒的酸度标准范围(0.40~2.20 $^{\circ}$ T)。甲醇是果酒发酵过程中产生的有毒副产物,主要与果胶酶解果胶和甘氨酸代谢有关,含量过高有中毒风险,所以甲醇也是衡量发酵果酒品质的重要指标^[14]。试验发现,红糖组甲醇含量最低,为380.64 mg/L,糯米糖化液组甲醇含量最高,为549.73 mg/L,可能与糯米糖化液带入氨基酸有关。红糖

总酚含量最高,为2.53 mg/g,大米糖化液组总酚含量最低,为2.09 mg/g。

2.3 对猕猴桃酒有机酸的影响

水果中本身含有大量有机酸,在发酵过程中醇类物质也会转化为相应的酸,有机酸含量过高或过低都会影响果酒的口感、光泽等感官品质^[6]。如表2所示,7组发酵酒中有机酸总含量存在一定差异,大米组和糯米组中有机酸总含量较高,分别为23.84,23.05 g/L,其中奎宁酸、乳酸和酒石酸含量为最高。奎宁酸主要来自猕猴桃,其次是大米和糯米在发酵过程中产生;乳酸一般由乳酸菌发酵糖类物质产生,是风味成分乳酸乙酯生成的基础物质,大米糖液和糯米糖液组中乳酸含量显著高于其他组别

表 1 不同碳源猕猴桃酒的基本理化指标[†]

Table 1 Fundamental physical and chemical parameters of kiwi wine utilizing diverse carbon sources

碳源	酒精度/ %vol	酸度/ °T	总酚/ (mg•g ⁻¹)	甲醇/ (mg•L ⁻¹)
大米糖液	12.92±0.13 ^a	1.67±0.05 ^a	2.09±0.01 ^c	493.30±1.21 ^b
糯米糖液	12.50±0.19 ^a	1.68±0.03 ^a	2.12±0.02 ^c	549.73±2.32 ^a
麦芽糖	10.40±0.15 ^c	1.53±0.04 ^c	2.37±0.04 ^b	483.18±1.18 ^b
蔗糖	13.14±0.14 ^a	1.63±0.06 ^b	2.37±0.04 ^b	491.56±1.05 ^b
果葡糖浆	12.86±0.15 ^a	1.59±0.01 ^b	2.33±0.02 ^b	439.99±0.96 ^c
红糖	11.25±0.15 ^b	1.61±0.01 ^b	2.53±0.05 ^a	380.64±0.74 ^d
葡萄糖	13.16±0.17 ^a	1.47±0.00 ^c	2.33±0.01 ^b	480.99±1.20 ^b

† 同列小写字母不同表示差异显著($P<0.05$)。

的,可能是由于糖化液引入造成的。葡萄糖组和麦芽糖组中有机酸总含量较低,分别为20.97,20.74 g/L,奎宁酸、丁二酸和酒石酸含量也是较低的,特别是麦芽糖组的奎宁酸,含量较大米组降低约13%,这3种酸的积累可能与发酵速率有关,发酵越快,积累得越多。不同组别间柠檬酸、苹果酸、抗坏血酸、乙酸差异不明显。

表 2 不同碳源猕猴桃酒的有机酸含量[†]

Table 2 Organic acid contents of kiwi wine with different carbon sources

碳源	酒石酸	奎宁酸	苹果酸	抗坏血酸	乳酸	乙酸	柠檬酸	丁二酸	总量
大米糖液	0.30±0.01 ^a	10.13±0.15 ^a	1.26±0.02 ^b	0.27±0.01 ^c	2.45±0.03 ^a	0.35±0.01 ^a	8.06±0.09 ^b	1.02±0.01 ^b	23.84±0.20 ^a
糯米糖液	0.21±0.01 ^a	10.09±0.17 ^a	1.25±0.01 ^b	0.40±0.00 ^b	1.79±0.03 ^b	0.30±0.00 ^a	8.04±0.07 ^b	1.00±0.02 ^b	23.05±0.19 ^a
麦芽糖	0.06±0.00 ^c	8.87±0.08 ^c	1.51±0.02 ^{ab}	0.43±0.01 ^b	0.36±0.01 ^c	0.31±0.00 ^a	8.38±0.12 ^a	0.82±0.00 ^c	20.74±0.21 ^c
蔗糖	0.06±0.00 ^c	9.74±0.10 ^b	1.38±0.01 ^b	0.48±0.01 ^a	0.42±0.01 ^c	0.29±0.01 ^b	8.18±0.10 ^b	1.02±0.01 ^b	21.57±0.11 ^b
果葡糖浆	0.15±0.00 ^b	9.81±0.10 ^b	1.41±0.01 ^b	0.43±0.01 ^b	0.39±0.00 ^c	0.30±0.01 ^a	8.04±0.11 ^b	1.07±0.01 ^b	21.60±0.12 ^b
红糖	0.15±0.01 ^b	9.10±0.05 ^d	1.71±0.02 ^a	0.34±0.00 ^{bc}	0.27±0.00 ^d	0.36±0.01 ^a	8.63±0.15 ^a	1.20±0.02 ^a	21.76±0.09 ^b
葡萄糖	0.06±0.00 ^c	9.50±0.07 ^c	1.38±0.01 ^b	0.47±0.00 ^a	0.44±0.01 ^c	0.26±0.00 ^b	7.93±0.06 ^b	0.93±0.01 ^c	20.97±0.10 ^c

† 同列小写字母不同表示差异显著($P<0.05$)。

表 3 不同碳源猕猴桃酒的单体酚含量[†]

Table 3 Phenolic acid contents of kiwi wine with different carbon sources

碳源	没食子酸	原儿茶酸	儿茶素	绿原酸	咖啡酸	表儿茶素	对香豆酸	阿魏酸	芦丁	总量
大米糖液	1.15±0.07 ^c	1.00±0.00 ^b	6.28±0.12 ^f	7.70±0.24 ^c	18.65±0.19 ^g	56.06±1.25 ^c	3.77±0.19 ^b	1.39±0.01 ^a	19.39±0.21 ^a	115.39±0.88 ^c
糯米糖液	0.70±0.01 ^d	1.31±0.02 ^a	7.13±0.17 ^e	4.63±0.17 ^f	20.04±0.33 ^f	62.23±1.04 ^d	2.66±0.14 ^c	1.40±0.05 ^a	17.08±0.30 ^c	117.18±1.31 ^c
麦芽糖	0.76±0.01 ^d	1.08±0.01 ^b	8.76±0.21 ^a	21.43±0.35 ^b	30.13±0.71 ^a	76.83±1.21 ^a	2.70±0.08 ^c	1.70±0.04 ^a	19.08±0.24 ^a	162.47±1.22 ^b
蔗糖	2.24±0.08 ^b	1.04±0.01 ^b	8.01±0.18 ^c	19.28±0.23 ^c	22.55±0.42 ^d	68.96±1.18 ^c	2.66±0.12 ^c	0.75±0.02 ^b	19.27±0.18 ^a	144.76±1.54 ^b
果葡糖浆	0.80±0.01 ^d	1.02±0.00 ^b	7.59±0.14 ^d	18.22±0.42 ^d	21.91±0.38 ^c	62.26±0.98 ^d	2.53±0.13 ^c	0.81±0.01 ^b	18.20±0.36 ^b	133.34±1.67 ^b
红糖	217.45±1.21 ^a	1.44±0.03 ^a	3.74±0.05 ^g	26.12±0.42 ^a	29.17±0.82 ^b	44.71±0.89 ^f	4.84±0.35 ^a	1.68±0.03 ^a	12.03±0.22 ^d	341.18±1.51 ^a
葡萄糖	0.78±0.01 ^d	1.36±0.01 ^a	8.33±0.11 ^b	19.91±0.31 ^c	23.85±0.51 ^c	69.87±2.01 ^b	2.73±0.10 ^c	0.68±0.01 ^b	17.92±0.32 ^b	145.43±0.98 ^b

† 同列小写字母不同表示差异显著($P<0.05$)。

2.4 对猕猴桃酒单体酚的影响

研究^[15]表明,猕猴桃中富含酚类物质,单体酚包含绿原酸、咖啡酸、儿茶素、表儿茶素等,都具有良好的生物活性,是其具备抗氧化能力的关键所在。如表3所示,7组发酵酒中单体酚总量存在显著差异($P<0.05$),红糖组中最高为341.18 mg/L,其中含有较高的没食子酸、绿原酸、咖啡酸和对香豆酸,这是因为红糖中甘蔗糖蜜富含此类多酚物质^[16],特别是没食子酸含量高达217.45 mg/L,是其他组别的200余倍。没食子酸不仅具有抗炎、抗突变、抗氧化等多种生物活性,对果胶酶还具有一定的抑制作用,可改善果胶酶引起的甲醇偏高现象^[17],这与前文中红糖组甲醇含量较低相吻合;但红糖组中的儿茶素、表儿茶素和芦丁是所有组别中含量最低的,可能是因为这3种物质含大量羟基,极易与含量较高的没食子酸发生酯化反应生成对应的酯类物质。大米糖液、糯米糖液组中单体酚含量最低,分别为115.39,117.18 mg/L,绿原酸、咖啡酸和表儿茶素低于其他组,其中绿原酸的含量为7.70,4.63 mg/L,仅为红糖组的29.5%和17.7%。绿原酸不仅是降血糖、血脂的营养保健品,也是抗氧化能力较强的食品添加剂^[18],引起这一现象的原因可能是大米、糯米组发酵速率快,氧化速度快,具体机理有待进一步研究。

2.5 对猕猴桃酒中挥发性成分的影响

7种碳源猕猴桃酒中共分离鉴定出53种挥发性成分,其中酯类12种,醇类16种,芳香烃类9种,酸类4种,其他类12种(包括烯类5种、酮类4种、醚类1种、烷烃类2种),

见图2。红糖组中挥发性成分种类最多,为47种,总含量为11.257 mg/kg;葡萄糖组和果葡糖浆组种类最少,为39种,但其总含量较高,分别为15.223,14.631 mg/kg,麦芽糖组总量最低,仅为9.800 mg/kg(详见图3)。

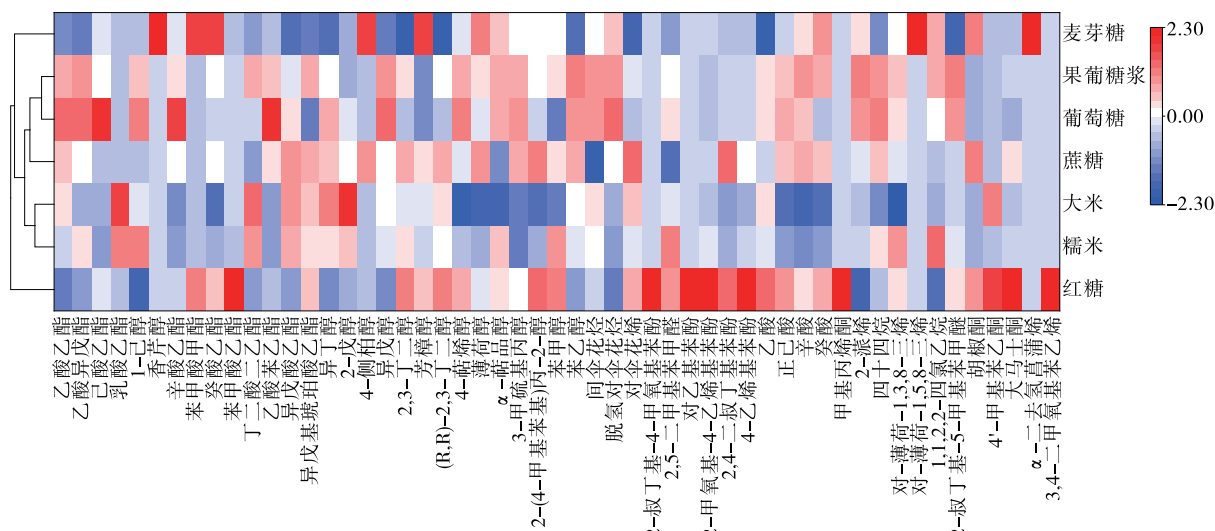


图2 不同碳源猕猴桃酒挥发性成分热图

Figure 2 Heat map of volatile components in kiwi wine with different carbon sources

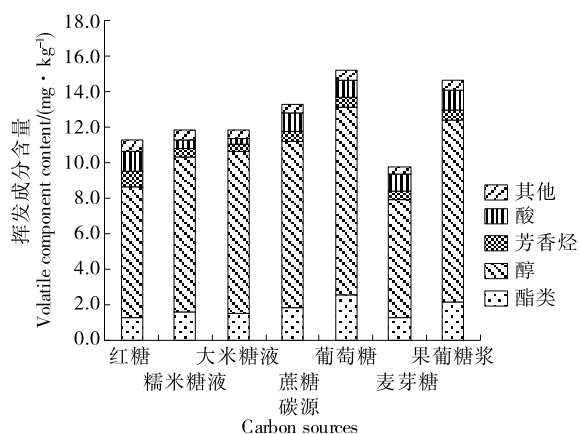


图3 不同碳源猕猴桃酒挥发性成分的含量

Figure 3 Content of volatile components in kiwi wine with different carbon sources

挥发性成分中醇类平均含量最高为8.985 mg/kg,占挥发性成分的71.1%,其中异戊醇、苯乙醇、4-萜烯醇为主要的醇类成分,占比醇类90.0%。异戊醇和苯乙醇在葡萄糖和果葡糖浆组中含量较高,麦芽糖组中最低。在氨基供应不足时,氨基酸合成受限,碳代谢更易产生异戊醇^[19],葡萄糖和果葡糖浆中氮含量较低,有利于异戊醇合成。苯乙醇为酵母代谢物,可经由莽草酸途径^[20]利用糖代谢产物合成,果葡糖浆、葡萄糖和蔗糖以单糖和双糖为主,酵母利用率较高,有利于苯乙醇的合成。4-萜烯醇为

一种单萜,具有抗菌抗炎等多种生物活性,并且少量的萜类可提高酒风味的丰富性^[21]。4-萜烯醇各组间差异较小,葡萄糖组含量最高,比含量最低的大米糖化液组高11.3%。

酯类物质主要由酸与醇酯化或氨基酸降解生成,不同组别中酯类成分平均含量为1.625 mg/kg,占挥发性成分的12.7%,其中乙酸异戊酯、乙酸乙酯、辛酸乙酯为主要的酯类成分,占比酯类68.7%。酯类和醇类的含量变化趋势基本一致,这可能因为二者的生成均与糖、氨基酸代谢有关。乙酸异戊酯具有苹果和香蕉的果香,葡萄糖和果葡糖浆组中含量最高,比含量最低的麦芽糖组分别高了253.4%和229.4%。乙酸乙酯具有果香、酒香,葡萄糖和果葡糖浆组中含量最高,红糖组中含量最低。乳酸乙酯只在糯米和大米糖液组中检出,这与两组中乳酸含量较高有关。

酸类平均含量为0.868 mg/kg,占挥发性成分的7.0%,其主要来自猕猴桃本身和酵母脂肪酸代谢,可起到协调香气、减少刺激感的作用^[22]。辛酸为主要的酸类,与王铁儒等^[23]的研究结果一致,果葡糖浆组中辛酸含量最高,比含量最低的大米糖液组高了262.9%,少量的辛酸可产生水果香和奶酪香,大量则为汗臭和腐臭味。

芳香烃类是一类具有特殊气味的含苯环类化合物,平均含量为0.559 mg/kg,占挥发性成分的4.5%,红糖组含量最高,大米糖液组最低。脱氢对伞花烃和4-乙炔基苯

酚为主要的芳香烃类成分,二者总量平均占比芳香烃类 67.9%。脱氢对伞花烃为具有柑橘、松树香气的单萜,组间含量差异不明显;4-乙烯基苯酚在红糖组中含量最高,比最低的大米糖液组高 374.3%,这是因为红糖糖蜜中含丰富的 4-乙烯基苯酚^[24]。

其他类平均含量为 0.523 mg/kg,占挥发性成分的 4.2%,包括 2-叔丁基-5-甲基苯甲醚和大马士酮等物质,对丰富猕猴桃酒的风味有一定贡献。

2.6 对猕猴桃酒感官评分的影响

如图 4 所示,不同外碳源下猕猴桃酒感官特性存在明显差异。总得分最高为红糖组,最低为麦芽糖组。所有猕猴桃酒均呈现出以下几个特点,在外观色泽方面,大米、糯米糖液组轻微失光,其余组别均清澈透亮,得分差异不明显,这可能与糯米糖液和大米糖液带入的可溶性蛋白有关^[2];在香气评价方面,都具有良好的发酵酒香和果香,得分均在 20 分以上;在滋味方面,突出表现为整体协调性较差,口感偏酸,红糖组表现稍好,得分最高;典型性方面,红糖和蔗糖得分最高,大米、糯米糖化液组得分较低,主要是 2 种糖化液使酒体存在过多米酒特点,使猕猴桃的风格特点不显著。总体红糖组的总分最高,是较理想的猕猴桃酒产品。

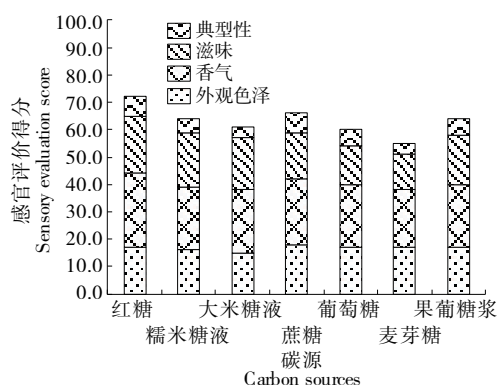


图 4 不同碳源猕猴桃酒的感官得分

Figure 4 Sensory score in kiwi wine with different carbon sources

3 结论

研究比较分析了不同外碳源对猕猴桃酒品质和挥发性成分的影响。结果显示,在发酵速率方面,大米和糯米糖化液组为酿酒酵母提供了充足的碳源,丰富的氮源,更有利于酵母菌的生长和乙醇积累,主发酵用时最短,但氧化速率快,致使总酚、绿原酸等单体酚含量最低,且甲醇和有机酸总含量较高;红糖组中总酚、单体酚总含量最高,甲醇含量最低;麦芽糖组发酵启动最慢,用时最长,酒精度最低;其余组别无明显差异。在挥发性成分方面,

7 种碳源发酵组共分离鉴定出 53 种挥发性成分,主要以醇类和酯类为主,含量分别占挥发性成分的 71.1% 和 12.7%,其中异戊醇、苯乙醇、异戊酸乙酯、辛酸、4-乙烯基苯酚和大马士酮等成分受碳源的影响较大。不同组别中葡萄糖组和果葡糖浆组的挥发性成分总量最高,麦芽糖组最低,红糖组种类最多。在感官特性方面,普遍存在口感偏酸的现象,这与猕猴桃酒中含较高的有机酸含量密不可分,也是下一步研究的重点。综上,除了大米、糯米糖化液和麦芽糖发酵的猕猴桃酒品质欠佳外,葡萄糖、蔗糖、果葡糖浆和红糖 4 种糖类不仅方便易得,价格低廉,综合品质较好,均可作为理想的外碳源,尤其是红糖在降低甲醇含量、增加活性物质和提升感官评分方面表现突出。

参考文献

- [1] 张琛, 郝笃隽, 刘辉, 等. 我国猕猴桃果酒酿造工艺及其品质评价研究进展[J]. 中国酿造, 2020, 39(10): 26-29.
ZHANG C, CHI D J, LIU H, et al. Research progress of the brewing technology and its quality evaluation of kiwifruit wine in China[J]. Chinese Brewing, 2020, 39(10): 26-29.
- [2] 张莉, 肖静, 胡鸿飞, 等. 4 个品种猕猴桃发酵酒品质评价[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2024, 52(4): 146-154.
ZHANG L, XIAO J, HU H F, et al. Evaluation of the quality of fermented kiwi wines made from four kiwi fruit cultivars[J]. Journal of Northwest A & F University (Natural Science Edition), 2024, 52(4): 146-154.
- [3] 李鹤, 杨华, 曹东, 等. 前处理方式对红心猕猴桃酒发酵品质和香气成分的影响[J]. 食品工业科技, 2019, 40(2): 100-106.
LI H, YANG H, CAO D, et al. Effect of pretreatment methods on the fermentation quality and aroma components of red kiwifruit wines[J]. Science and Technology of Food Industry, 2019, 40(2): 100-106.
- [4] WU Z, CHEN T, YANG E H, et al. Isolation and selection of non-Saccharomyces yeasts being capable of degrading citric acid and evaluation its effect on kiwifruit wine fermentation[J]. Fermentation, 2020, 6(1): 25.
- [5] 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 fermentation methods on the quality of wines made from wild kiwifruit[J]. Food Science, 2018, 39(4): 233-240.
- [6] 刘俊丽, 孙广玲, 黄蓉, 等. 微通氧条件下东方伊萨酵母对猕猴桃酒的降酸效果[J]. 中国食品学报, 2023, 23(4): 283-294.
LIU J L, SUN G L, HUANG R, et al. The acid-reducing effect of micro-oxygenation on pichia kudriavzevii in kiwi wine[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2023, 23(4): 283-294.
- [7] 徐洲, 朱文优, 尹礼国, 等. 猕猴桃全果发酵干酒的澄清技术及稳定性研究[J]. 食品研究与开发, 2017, 38(9): 137-141.

- XUN Z, ZHU W Y, YIN L G, et al. Study on the clarification technology and stability of kiwi dry wine through whole fruit fermentation[J]. Food Research and Development, 2017, 38(9): 137-141.
- [8] 周艳, 李华佳, 李可, 等. 猕猴桃发酵果酒生产工艺研究进展[J]. 中国酿造, 2023, 42(3): 23-27.
- ZHOU Y, LI H J, LI K, et al. Research progress on production technology of fermented kiwi fruit wine[J]. China Brewing, 2023, 42(3): 23-27.
- [9] CAO H Q, BAI M Y, LOU Y Y, et al. Optimization of the brewing process and analysis of antioxidant activity and flavor of elderberry wine[J]. Fermentation, 2023, 3(9): 276.
- [10] 胡文彬, 尹雪林, 李二虎. 猕猴桃黑糯米复合发酵酒的制备工艺及品质特性分析[J]. 食品与发酵工业, 2023, 49(4): 23-29.
- HU W B, YIN X L, LI E H. Preparation and quality analysis of kiwifruit wine supplied with saccharified black glutinous rice [J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 49(4): 23-29.
- [11] LIU X Y, SONG L Q, XUE B G, et al. Organic acid and sugar components accumulation and flavor associated metabolites dynamic changes in yellow- and white-fleshed seedless loquats (*Eriobotrya japonica*) [J]. Food Chemistry: X, 2024(21): 101046.
- [12] KEBAL L, POKAJEWICZ K, DJEBLI N, et al. HPLC-DAD profile of phenolic compounds and *In vitro* antioxidant activity of *Ficus carica* L. fruits from two Algerian varieties[J]. Biomedicine & Pharmacotherapy, 2022, 155: 113738.
- [13] 何旭峰, 易良键, 郑容, 等. 基于HS-SPME-GC-MS对传统剁椒发酵过程中挥发性成分和关键香气物质分析[J]. 食品与发酵工业, 2023, 49(19): 296-303.
- HE X F, YI L J, ZHENG R, et al. Analysis of volatile components and key aroma substances in the fermentation process of traditional chopped pepper based on HS-SPME-GC-MS[J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 49(19): 296-303.
- [14] 张香, 秦丹, 曾璐, 等. 发酵型果酒中甲醇和杂醇油的研究进展[J]. 中国酿造, 2020, 39(8): 17-21.
- ZHANG X, QIN D, ZENG L, et al. Research progress on methanol and fusel oil in fermented fruit wine[J]. China Brewing, 2020, 39(8): 17-21.
- [15] 李瑞娟, 梁锦, 王丹, 等. 不同品种猕猴桃汁抗氧化成分及体外抗氧化活性比较[J]. 食品工业科技, 2022, 43(2): 311-318.
- LIN R J, LIANG J, WANG D, et al. Comparative analysis of antioxidant compounds and antioxidant activities in vitro of different kiwifruit juice[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(2): 311-318.
- [16] 潘振辉, 董宇豪, 陈显伟, 等. 桑葚、甘蔗糖蜜多酚的成分鉴定及其复配物的抗氧化活性[J]. 现代食品科技, 2023, 39(7): 246-254.
- PAN Z H, DONG Y H, CHEN X W, et al. Composition analysis of mulberry polyphenols and sugarcane molasses polyphenols and the antioxidant activity of their mixture[J]. Modern Food Science and Technology, 2023, 39(7): 246-254.
- [17] 张会香, 程鑫, 林楠, 等. 百香果壳发酵低甲醇含量果酒工艺优化[J]. 食品研究与开发, 2023, 44(12): 153-159.
- ZHANG H X, CHENG X, LIN N, et al. Process optimization on low methanol content of fermented fruit wine with passion fruit shells[J]. Food Research and Development, 2023, 44(12): 153-159.
- [18] 宿子文, 蔡志翔, 孙滕, 等. 植物中绿原酸生物合成研究进展[J]. 江苏农业学报, 2023, 39(6): 1 414-1 426.
- SU Z W, CAI Z X, SUN M, et al. Research progress on biosynthesis of chlorogenic acid in plants[J]. Jiangsu Journal of Agricultural Sciences, 2023, 39(6): 1 414-1 426.
- [19] 樊静雅, 谷欣哲, 梁清文, 等. 白酒发酵过程中异戊醇合成机制与减控研究进展[J]. 中国酿造, 2023, 42(5): 1-8.
- FAN J Y, GU X Z, LIANG Q W, et al. Research progress in mechanism of isoamyl alcohol synthesis and its reduction control during Baijiu fermentation[J]. China Brewing, 2023, 42(5): 1-8.
- [20] 邹谋勇, 朱新贵, 刘丹等. 产2-苯乙醇酵母的鉴定及其在酱油发酵中的应用[J]. 食品科学, 2019, 40(6): 217-222.
- ZOU M Y, ZHU X G, LIU D, et al. Identification of 2-phenethyl alcohol-producing yeast and its application in soy sauce fermentation[J]. Food Science, 2019, 40(6): 217-222.
- [21] ÁLVAREZ M G, GONZÁLEZ-BARREIRO C, CANCHOGRANDE B, et al. Relationships between Godello white wine sensory properties and its aromatic fingerprinting obtained by GCMS[J]. Food Chemistry, 2011, 129(3): 890-898.
- [22] 周文杰, 张芳, 王鹏, 等. 基于GC-MS/GC-O结合化学计量学方法研究库勒香梨酒的特征香气成分[J]. 食品科学, 2018, 39(10): 222-227.
- ZHOU W J, ZHANG F, WANG P, et al. GC-MS/GC-O combined with chemometrics for the screening and identification of aroma characteristics of korla pear wine[J]. Food Science, 2018, 39(10): 222-227.
- [23] 王铁儒, 郭丽, 马曼, 等. SPME-GC-MS与电子鼻结合分析不同酵母混菌发酵猕猴桃酒的挥发性香气物质[J]. 食品工业科技, 2021, 42(16): 119-128.
- WANG T R, GUO L, MA M, et al. Analysis of volatile aroma compounds in kiwi wine cofermentation with different yeasts by SPME-GC-MS combined with electronic nose[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(16): 119-128.
- [24] 张树河, 李和平, 李海明, 等. 福建省主要栽培果蔗品种红糖香气成分研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2023, 14(9): 153-159.
- ZHANG S H, LI H P, LI H M, et al. Analysis of aromatic components from brown sugar of main cultivated chewing cane varieties in Fujian Province[J]. Journal of Food Safety & Quality, 2023, 14(9): 153-159.