

不同氮源发酵猕猴桃酒的品质和挥发性成分比较

何旭峰¹, 郑容¹, 熊双^{1,2}, 黄小兰^{1*}, 张椿翊¹, 罗长琴¹, 朱泽兵¹

(1. 重庆市食品药品检验检测研究院一分院, 重庆 404100)

(2. 重庆三峡学院食品与生物工程学院, 重庆 404120)

摘要: 为优化猕猴桃酒发酵工艺, 提升综合品质, 该研究以猕猴桃为原料, 添加酵母浸粉、FN502 型酵母营养剂(酵母浸出物)、磷酸氢二铵、硫酸铵、氯化铵和碳酸铵作为补充氮源发酵猕猴桃酒, 并对其品质与挥发性成分进行分析比较。结果显示, 除氯化铵外, 其它氮源对发酵速率有明显的促进作用, 可缩短 2~3 d 的主发酵时间; 有机氮源和碳酸铵组相比对照组总酸降低了 1.75%~10.23%; 无机氮源的添加显著降低了酚类物质的含量, 总酚下降 1.50%~19.48%, 绿原酸下降 48.56%~94.95%, 而有机氮源则影响较小。在挥发性成分方面, 不同氮源样品共鉴定出挥发性成分 60 种, 以醇类和酯类为主, 分别占挥发性成分的 56.56% 和 36.26%, 与对照相比, 有机氮源可提高醇类和酯类成分的含量, 其中酵母浸粉组醇类提高了 10.06%, FN502 组酯类提高了 9.49%。感官评价中, FN502 组得分最高, 其中香气得分明显高于对照组。综上, 该研究为猕猴桃酒发酵过程中合理添加氮源提供了理论基础, 对提高品质、生产应用具有指导意义。

关键词: 氮源; 猕猴桃酒; 理化指标; 单体酚; 挥发性成分

文章编号: 1673-9078(2025)07-341-350

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2025.7.0533

Comparison of Quality and Volatile Components of the Kiwi Wine Fermented with Different Nitrogen Sources

HE Xufeng¹, ZHENG Rong¹, XIONG Shuang^{1,2}, HUANG Xiaolan^{1*},

ZHANG Chunyi¹, LUO Changqin¹, ZHU Zebing¹

(1.Chongqing Institute for Food and Drug Control First Branch, Chongqing 404100, China)

(2.Chongqing Three Gorges University College of Biology and Food Eengineering, Chongqing 404120, China)

Abstract: In order to optimize the fermentation process of kiwi wine and improve its overall quality, kiwifruit was the as raw material in this study, yeast powder, FN502 yeast nutrients (yeast extract), diammonium hydrogen phosphate, ammonium sulfate, ammonium chloride, and ammonium carbonate were used as the supplementary nitrogen sources for fermenting kiwifruit wine. The quality and volatile components of the resulting kiwi wine were analyzed and compared. The results showed that except for ammonium chloride, other nitrogen sources could significantly promote the fermentation rate and shorten the main fermentation time by 2 to 3 days. The total acid contents of the organic nitrogen source group and the ammonium carbonate decreased by 1.75%~10.23% group, compared with the control group, decreased by 1.75% to 10.23%.

引文格式:

何旭峰,郑容,熊双,等.不同氮源发酵猕猴桃酒的品质和挥发性成分比较[J].现代食品科技,2025,41(7):341-350.

HE Xufeng, ZHENG Rong, XIONG Shuang, et al. Comparison of quality and volatile components of the kiwi wine fermented with different nitrogen sources [J]. Modern Food Science and Technology, 2025, 41(7): 341-350.

收稿日期: 2024-04-22

基金项目: 南京市“科技三峡行”重庆万州区对口支援项目(2022101S-01); 重庆市市场监督管理局科研资助项目(CQSKJJDW2024041)

作者简介: 何旭峰(1986-), 男, 本科, 工程师, 研究方向: 农产品精深加工, E-mail: 182401266@qq.com

通讯作者: 黄小兰(1986-), 女, 硕士, 工程师, 研究方向: 食品加工与安全, E-mail: 534832723@qq.com

The addition of inorganic nitrogen sources resulted in a notable reduction in the content of phenolic substances, with the total phenol content decreasing by 1.50%~19.48%, the chlorogenic acid content decreasing by 48.56%~94.95%, whilst the organic nitrogen source group exhibited a less pronounced effect. In terms of volatile components, a total of 60 volatile components were identified in the samples with different nitrogen sources, mainly alcohols and esters, accounting for 56.56% and 36.26% of the volatile components, respectively. Compared with the control, the organic nitrogen source led to significant increases in the contents of alcohol and ester components, among which the alcohol content of the yeast extract group increased by 10.06%, and the content of esters of the FN502 group increased by 9.49% in. In the sensory evaluation, the FN502 group was scored the highest, and the aroma score was significantly higher than that of the control group. In summary, this study provides a theoretical foundation for the rational addition of nitrogen sources during the fermentation process of kiwi wine, and has guiding significance for improving quality and production applications.

Key words: nitrogen sources; kiwi wine; physicochemical indexes; phenolic acid; volatile components

猕猴桃酒是以猕猴桃浆(汁)为主要原料,经酵母部分或全部发酵而成的一种低酒精度饮料^[1],富含维生素C、氨基酸、矿物质元素、有机酸、多酚等物质,具有抗氧化、抗衰老等保健功效^[2-4],是当前猕猴桃水果的重要精深加工品,市场前景广阔。但由于评价标准和技术体系不完善,猕猴桃酒还存在无专用酵母、酸度偏高、甲醇和高级醇含量高弱点^[5,6]。

果酒发酵是酵母利用、分解足够的有机物维持自身生命活动和完成乙醇积累的过程。氮源是发酵过程中除碳源外的必需有机物,一般来源于果实本身,当果实中氮源不足时,酿酒酵母生长缓慢,发酵启动迟,发酵能力弱,造成杂菌污染形成腐败味^[7];同时果酒中香气物质的形成也与氮源的种类、含量息息相关^[8]。氮源包括无机氮源和有机氮源,无机氮源主要是可直接被酵母利用的铵盐,具有便宜易得的特点;有机氮源则主要为除脯氨酸以外的 α -氨基酸和小分子肽。目前,外氮源在葡萄酒中应用广泛并已成体系^[9],其他果酒^[10-12]、黄酒^[13]中也有相关研究,猕猴桃酒中虽有卢丽娟等^[14]发现添加300 mg/L的可同化氮源磷酸氢二铵可显著降低甲醇和高级醇的含量,提高乙酸乙酯等香气成分的含量,但对于其他种类的无机氮源乃至有机氮源的研究却未见报道。张超等^[10]在比较不同氮源对青梅果酒发酵品质影响的研究中发现,有机氮源在加速糖降解,提高酒精产量方面效果优于无机氮源,无机氮源在香气、外观方面更胜一筹;邓山鸿等^[12]发现,3种无机氮源对低温发酵脐橙果酒中挥发性成分影响显著,添加0.4 g/L磷酸氢二铵组可显著提高乙酸酯类的含量,1.0 g/L硫酸铵组萜烯类和乙基酯类的含量较高,1.5 g/L碳酸氢铵组高级醇类、高级脂肪酸类和醛酮类含量更高;谢诗怡等^[15]比较不同有机氮源

对葡萄酒发酵性能影响时发现,少量添加酵母浸粉比混合氨基酸对发酵程度和速度的影响更大。由此表明,氮源种类、含量不同对发酵能力和产品品质存在一定的影响。

因此,本研究以红心猕猴桃为原料,选取常见铵盐磷酸氢二铵、硫酸铵、碳酸铵、氯化铵作为无机外氮源,商品化酵母浸粉和FN502型酵母营养剂(酵母浸出物)作为有机外氮源,考察不同氮源及添加水平对猕猴桃酒发酵时间、酒精度、总酸、单体酚、感官特性等的影响,同时比较分析其挥发性成分,旨在进一步优化发酵工艺,提高产品品质,为猕猴桃酒的标准化、产业化发展提供理论支撑。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

红心猕猴桃(可溶性固形物为15.20%,还原糖含量9.28%),由重庆市万州区铁峰山酒业有限公司提供;果酒酵母,安琪酵母公司。

试剂:偏重亚硫酸钾(食品级),河南华兴生物科技有限公司;磷酸氢二铵、硫酸铵、碳酸氢铵、氯化铵(均为分析纯),成都科隆化学有限公司;酵母浸粉、FN502型酵母营养剂(酵母浸出物)(以下简称FN502),安琪酵母股份有限公司;2-辛醇(色谱纯),萨恩化学技术(上海)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(纯度均大于99.5%),成都德思特生物技术有限公司;其他试剂均为国产分析纯。

1.2 仪器与设备

LC-20AT型高效液相色谱仪,日本岛津公司;

7000C 型气相色谱-质谱联用仪, 美国安捷伦公司; 50 μm 膜厚的 Divinylbenzene/Carboxen/PDMS 顶空固相微萃取头, 美国 Supelco 公司; TU-1901 型双光束紫外可见分光光度计, 北京普析通用仪器有限责任公司; DMA 4500M 型密度计, 安东帕(上海)商贸有限公司; DLX-SDJ1514 型手持糖度计, 杭州德力西集团有限公司。

1.3 实验方法

1.3.1 猕猴桃酒的酿造工艺及氮源的添加

选果→匀浆→调糖→接种酵母→密封发酵→倒罐→陈酿
操作说明:

(1) 选果、匀浆: 挑选成熟软化果子, 匀浆, 按 0.025% (m/m , 下同) 加入偏重亚硫酸钾, 混匀静置 30 min;

(2) 调糖、接种酵母: 按 2:1 的质量比混合果浆(可溶性固形物含量为 15.20%)和果葡糖浆溶液(可溶性固形物含量为 38.60%), 按 0.02% 加入酵母菌粉, 混匀;

(3) 密封发酵、倒罐和陈酿: 发酵温度为 20 $^{\circ}\text{C}$, 当 48 h 内酒醪重量不再下降后倒罐、过滤, 收集滤液, 后密封 4 $^{\circ}\text{C}$ 陈酿。

氮源添加在接种酵母处进行, 设置 4 种无机氮源(磷酸氢二铵、硫酸铵、碳酸氢铵、氯化铵)和 2 种有机氮源(酵母浸粉、FN502)的不同添加质量浓度 0.15、0.30、0.45 g/kg (以氮计), 同时设置空白对照组, 每组 3 个平行(分组编号信息见表 1)。

1.3.2 理化指标测定

总酸、酒精度、还原糖参照 GB/T 15038-2006《葡萄酒、果酒通用分析方法》测定; pH 值参照 GB 5009.237-2016《食品安全国家标准 食品 pH 值的测定》测定; 甲醇按 GB 5009.266-2016《食品安全国家标准 食品中甲醇的测定》测定。

1.3.3 总酚及单体酚测定

总酚用福林酚法测定; 单体酚参照 Kebal 等^[16]的方法采用高效液相色谱法进行单体酚含量的测定。

1.3.4 挥发性成分测定

称取 5.000 g 混匀酒样于 20 mL 顶空瓶中, 加入 2.5 g 氯化钠和 30 μL 2-辛醇内标溶液(200 $\mu\text{g/mL}$), 盖紧盖子, 参照何旭峰等^[17]的方法采用 HS-SPME-GCMS 进行半定量分析。萃取条件: 60 $^{\circ}\text{C}$

平衡 30 min, 500 r/min 时时振摇, 吸附 20 min, 进样口 230 $^{\circ}\text{C}$, 解析 5 min。气相条件: DB-Heavy WAX 色谱柱(50 m $\times$ 0.25 mm $\times$ 0.20 μm), 升温程序: 40 $^{\circ}\text{C}$ (保持 5 min), 以 2.5 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升温至 100 $^{\circ}\text{C}$ 保持 2 min, 再以 2.5 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升温至 200 $^{\circ}\text{C}$ 保持 1 min, 最后以 10 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升温至 250 $^{\circ}\text{C}$ 保持 5 min。质谱条件: 离子源为 EI 源, 全扫范围为 20~550 m/z 。

1.3.5 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 SPSS 20.0 进行方差分析, 结果以 3 次重复处理的平均值 $\pm$ 标准差表示。采用 Origin 2021 进行折线图、柱状图和热图的制作。

2 结果与讨论

2.1 不同氮源对猕猴桃酒发酵速率的影响

充足的氮源对酵母氨基酸合成与代谢十分重要, 是酵母快速增殖的物质条件之一。由图 1 可知, 随着补氮量的提高, 碳酸铵、酵母浸粉、FN502 组的发酵时间由 8 d 缩短至 6 d, 磷酸氢二铵组由 9 d 缩短至 8 d, 硫酸铵和氯化铵组由 10 d 缩短至 9 d, 对照组发酵时间为 9 d, 可见补氮可提高猕猴桃酒的发酵速率, 且与补氮量呈正相关趋势。碳酸铵组发酵启动速度最快, 酵母浸粉和 FN502 组则在主发酵的中后段更快, 这可能和氮源的利用效率有关, 硫酸铵和氯化铵提速作用不明显, 可能是由于二者为弱碱强酸盐, 氮元素转移之后可引起酒醪酸度升高, 较高的酸度抑制了酵母活性。孙悦^[18]的研究发现, 补充可转化氮源可显著提高酒精发酵速度, 但达到一定量后, 提速作用不再明显。整体的发酵速率表现为有机氮源>无机氮源>对照组, 这是因为酵母发酵代谢过程可利用的氮为可同化氮, 主要为铵离子和 α -氨基酸, 酵母浸粉和 FN502 富含氨基酸、小肽和核苷酸等物质, 能直接为酵母代谢提供全面氮源^[19], 而无机氮源则需生物将其转化为有机含氮化合物后方可利用^[20], 因此对发酵促进作用略弱于有机氮源。

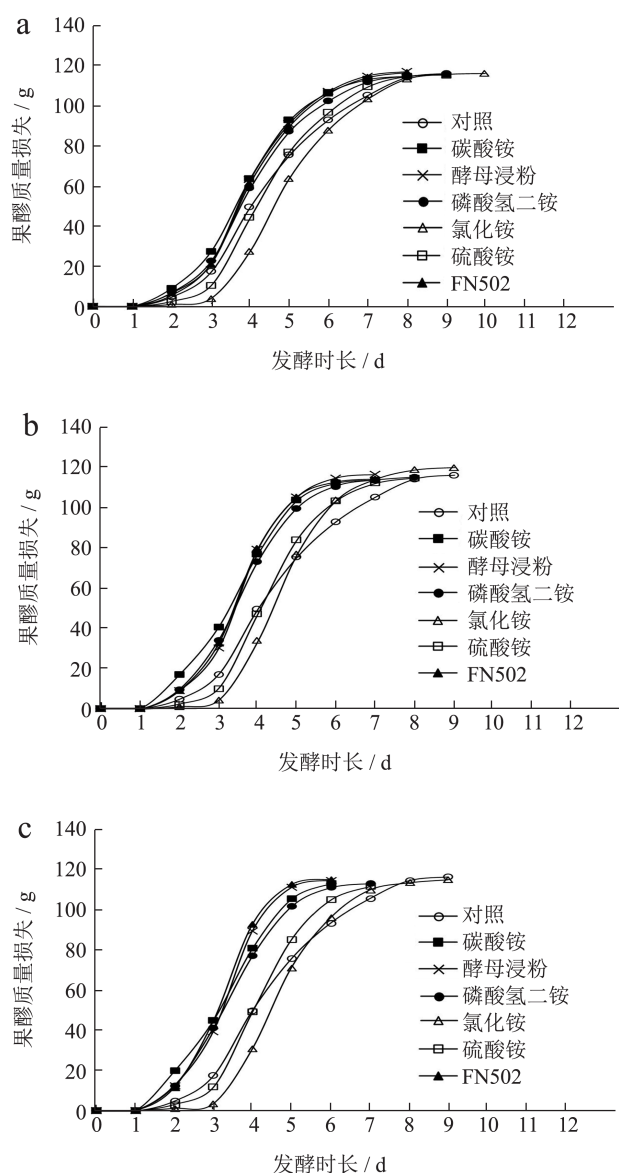


图1 不同氮源猕猴桃酒的发酵曲线

Fig.1 Fermentation curve of kiwi wine with different nitrogen sources

注:(a) 补氮量 0.15 g/kg; (b) 补氮量 0.30 g/kg; (c) 补氮量 0.45 g/kg。

2.2 不同氮源对猕猴桃酒基本理化指标的影响

各猕猴桃酒的基本理化指标如表1所示。发酵结束时, B3(碳酸铵组, 补氮量为0.45 g/kg)的酒精度最低为12.08% vol, 其余组别酒精度受氮源种类和浓度影响不大。同时发现, 除B1(碳酸铵组, 补氮量为0.15 g/kg)中还原糖含量高于空白对照组, 其余组别均有减少趋势。猕猴桃富含有机酸, 使其发酵酒存在口感偏酸、尖锐等特点。本研究添加不同氮源发现, 磷酸氢二铵、硫酸铵和氯化铵组总酸

较空白对照组高, 且随添加量的增加有上升趋势, 可能是跟这3种氮源均为弱碱强酸盐有关, 随着氮根离子不断消耗, 氢离子浓度不断升高导致的; 碳酸铵、酵母浸粉和FN502组总酸较对照组低, 特别是碳酸铵组, 随着添加量的增加而呈现下降趋势, 在0.45 g/kg时, 总酸最低为10.27 g/L, 比对照组(11.44 g/L)降低了10.23%。pH值的变化同总酸刚好相反。商玉荟^[19]发现不同氮源均可降低无核荔枝酒中琥珀酸含量, 引起pH值上升。由此表明, 氮源种类和添加量对猕猴桃酒总酸有一定的调节作用。

甲醇主要因果胶酶分解果胶和甘氨酸代谢而来, 是果酒普遍存在的潜在有害物质。虽然目前没有相关国家标准对其进行限量规定, 但为了提高猕猴桃酒的安全性, 保障人体健康, 酿造过程中降低其含量意义重大。由表1可发现, 当磷酸氢二铵添加量为0.45 g/kg时(A3), 与对照组相比甲醇含量下降了9.70%, 卢丽娟等^[14]在研究中发现添加300 mg/L磷酸氢二铵可使猕猴桃酒中甲醇含量下降20.1%。其余组甲醇含量差异不大, 这表明通过氮源影响酵母甘氨酸代谢来控制甲醇含量效果不明显, 需进一步探索其他方式。

2.3 不同氮源对猕猴桃酒酚类物质的影响

相关研究表明, 多酚是猕猴桃中主要活性成分, 是发挥抗氧化活性的关键所在^[21]。最大限度的保留果实中活性成分是发酵型果酒的显著特征及优势, 在已有的研究中, 比较偏重于酒精度、总酸、残糖等常规理化指标的考察, 而忽略了果酒特有的活性成分。本研究比较了不同氮源对酚类物质的影响, 结果如表2所示, 添加磷酸氢二铵、硫酸铵、碳酸铵和氯化铵等无机氮源均不同程度降低了总酚含量, 降低幅度为1.50%~19.48%, 且随添加量增大降低幅度越大, 当氯化铵添加水平为0.45 g/kg(D3)时, 总酚含量仅为1 494.86 mg/L, 为所有组别中最低。无机氮源组酚类物质含量下降, 一方面可能被无机氮源中某些氮氧化物氧化消耗, 另一方面因无机氮源无法直接提供酵母代谢所需的氨基酸类含氮化合物, 导致部分酚类物质被降解转化为丁二糖、 α -酮酸、苯酚衍生物等物质进入氨基酸代谢和糖代谢^[22]。有机氮源酵母浸粉和FN502与对照组无显著性差异, 当酵母浸粉添加量为0.45 g/kg(F3)时, 总酚含量最高, 为1 955.32 mg/L。酵母浸粉富含氨基酸, 其中包括酚酸物质合成的重要中间物质苯丙氨酸^[23], 抑制了酚酸的降解。

从单体酚测定结果上看，不同氮源猕猴桃酒中均以表儿茶素、绿原酸、咖啡酸、儿茶素和芦丁为主，影响趋势大体与总酚相似。通过相关性分析（图 2）发现，无机氮源组中除 A1、A2 外，其余 10 组与对照组的相关系数均 ≤ 0.90 ，且添加量越多相关系数越小，表现为负相关，表明无机氮源的添加降低了单体酚的含量。具体来看无机氮源对绿原酸的影响最大，补氮量在 0.45 g/kg 时，相较于对照组，含量下降 48.56%~94.95%，其次是芦丁、表儿茶素、咖啡酸和儿茶素。氯化铵对单体酚的负面影响最大，与对照组相比单体酚总量下降了 41.41%。有机氮源组和低、中水平的磷酸氢二铵（A1、A2）组与对照组的相关系数均 ≥ 0.93 ，表明对单体酚含量影响较小，其中酵母浸粉对表儿茶素、

绿原酸和儿茶素的含量还存在一定提高作用。

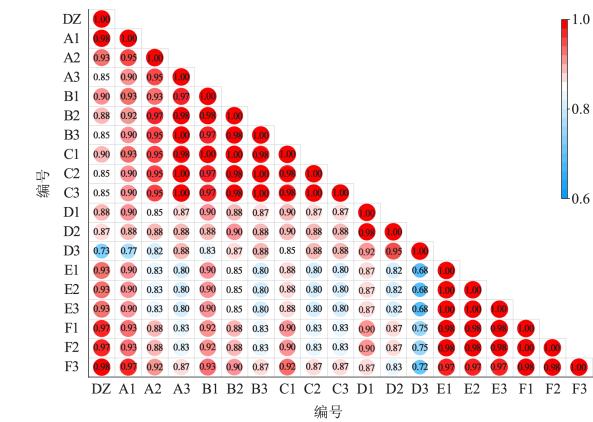


图 2 不同氮源样品的相关性分析结果

Fig.2 Correlation analysis results of kiwi fruit with different nitrogen sources

表 1 不同氮源猕猴桃酒的基本理化指标

Table 1 Fundamental physical and chemical parameters of kiwi wine utilizing diverse nitrogen sources							
氮源	编号	补氮量/(g/kg)	酒精度/(%vol)	还原糖（以葡萄糖计 g/L）	pH 值	总酸（以柠檬酸计 g/L）	甲醇/(mg/L)
对照	DZ	0.00	13.75 ± 0.04 ^a	6.84 ± 0.03 ^{bc}	3.29 ± 0.06 ^{cde}	11.44 ± 0.15 ^f	262.13 ± 2.51 ^{ab}
	A1	0.15	13.50 ± 0.03 ^{def}	6.50 ± 0.08 ^{fg}	3.38 ± 0.02 ^{ab}	11.93 ± 0.02 ^d	259.49 ± 2.23 ^{cd}
	A2	0.30	13.40 ± 0.05 ^{gh}	6.42 ± 0.03 ^{gh}	3.16 ± 0.02 ^f	12.03 ± 0.02 ^d	258.17 ± 2.12 ^{defg}
磷酸氢二铵	A3	0.45	12.95 ± 0.07 ^j	6.58 ± 0.05 ^{ef}	3.11 ± 0.03 ^g	12.60 ± 0.03 ^a	236.71 ± 1.58 ^k
	B1	0.15	13.47 ± 0.03 ^{efg}	7.32 ± 0.04 ^a	3.10 ± 0.02 ^g	11.80 ± 0.01 ^e	257.57 ± 1.61 ^{defg}
	B2	0.30	13.34 ± 0.06 ^{hi}	6.84 ± 0.05 ^{bc}	2.99 ± 0.01 ^h	12.26 ± 0.05 ^c	259.22 ± 1.86 ^{cde}
硫酸铵	B3	0.45	12.08 ± 0.02 ⁱ	6.42 ± 0.03 ^{gh}	2.86 ± 0.05 ⁱ	12.62 ± 0.01 ^a	246.68 ± 0.64 ^k
	C1	0.15	13.41 ± 0.01 ^{fgh}	6.34 ± 0.03 ^{hi}	3.25 ± 0.04 ^e	11.24 ± 0.05 ^g	255.26 ± 4.32 ^{hi}
	C2	0.30	13.44 ± 0.05 ^{efg}	6.27 ± 0.05 ^{ij}	3.34 ± 0.03 ^{bc}	10.68 ± 0.03 ^j	256.69 ± 1.43 ^{fighi}
碳酸铵	C3	0.45	13.39 ± 0.08 ^{gh}	6.19 ± 0.06 ^j	3.36 ± 0.05 ^{ab}	10.27 ± 0.02 ^k	261.03 ± 3.26 ^{bc}
	D1	0.15	13.47 ± 0.05 ^{efg}	6.93 ± 0.05 ^b	3.08 ± 0.01 ^g	11.93 ± 0.08 ^d	252.84 ± 1.64 ^j
	D2	0.30	12.80 ± 0.04 ^k	6.84 ± 0.06 ^{bc}	2.90 ± 0.03 ⁱ	12.21 ± 0.08 ^c	263.18 ± 2.65 ^a
氯化铵	D3	0.45	13.29 ± 0.05 ⁱ	6.84 ± 0.05 ^{bc}	2.78 ± 0.01 ^j	12.44 ± 0.07 ^b	258.06 ± 1.33 ^{defg}
	E1	0.15	13.52 ± 0.01 ^{cde}	6.75 ± 0.06 ^{cd}	3.25 ± 0.03 ^e	11.03 ± 0.06 ^h	257.13 ± 1.31 ^{efgh}
	E2	0.30	13.53 ± 0.04 ^{cde}	6.75 ± 0.09 ^{cd}	3.33 ± 0.02 ^{bcd}	10.70 ± 0.02 ^j	254.71 ± 0.78 ^{ij}
FN502	E3	0.45	13.66 ± 0.08 ^b	6.84 ± 0.05 ^{bc}	3.36 ± 0.02 ^{ab}	11.03 ± 0.08 ^h	258.89 ± 2.59 ^{def}
	F1	0.15	13.78 ± 0.06 ^a	6.50 ± 0.01 ^{fg}	3.28 ± 0.01 ^{de}	10.98 ± 0.05 ^h	261.58 ± 2.52 ^{ab}
	F2	0.30	13.60 ± 0.08 ^{bc}	6.58 ± 0.07 ^{ef}	3.35 ± 0.01 ^{ab}	10.83 ± 0.08 ⁱ	256.52 ± 2.24 ^{ghi}
酵母浸粉	F3	0.45	13.58 ± 0.07 ^{bcd}	6.67 ± 0.06 ^{de}	3.40 ± 0.01 ^a	11.06 ± 0.06 ^h	257.07 ± 1.40 ^{efgh}

注：同列不同小写字母表示差异显著（ $P<0.05$ ），下表同。

表 2 不同氮源猕猴桃酒的单体酚含量 (mg/L)
Table 2 Phenolic acid contents of kiwi wine with different nitrogen sources

氮源	编号	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	总酚 (以儿茶素计)
对照	DZ	1.81 ± 0.04 ^{cd}	0.85 ± 0.01 ^a	10.74 ± 0.15 ^{bc}	25.33 ± 0.36 ^d	21.09 ± 0.44 ^{efg}	87.22 ± 1.51 ^{bcd}	0.58 ± 0.02 ^{fg}	0.66 ± 0.02 ^{ef}	24.47 ± 0.48 ^d	1 856.51 ± 26.54 ^{cd}
	A1	1.36 ± 0.03 ^{hi}	0.76 ± 0.02 ^{bc}	10.72 ± 0.23 ^{bc}	23.84 ± 0.93 ^c	20.20 ± 0.30 ^{fgh}	86.12 ± 1.53 ^{cde}	0.57 ± 0.01 ^{fgh}	0.60 ± 0.03 ^{fg}	17.98 ± 0.50 ^e	1 782.93 ± 24.88 ^{fg}
	A2	1.45 ± 0.04 ^{fgh}	0.73 ± 0.04 ^{cd}	10.27 ± 0.31 ^{cde}	20.72 ± 0.41 ^f	19.51 ± 0.47 ^h	84.46 ± 1.49 ^{def}	0.82 ± 0.03 ^d	0.67 ± 0.02 ^e	11.76 ± 0.45 ^g	1 684.10 ± 26.14 ^h
磷酸氢二铵	A3	1.44 ± 0.05 ^{gh}	0.48 ± 0.04 ^h	8.67 ± 0.32 ^g	13.03 ± 0.26 ⁱ	17.62 ± 0.30 ⁱ	71.01 ± 1.47 ^h	1.36 ± 0.05 ^a	0.54 ± 0.01 ^{gh}	7.56 ± 0.08 ^{ij}	1 643.48 ± 19.51 ⁱ
	B1	1.75 ± 0.04 ^{de}	0.13 ± 0.01 ⁱ	10.44 ± 0.21 ^{cde}	19.69 ± 1.48 ^{fg}	19.98 ± 0.77 ^{gh}	85.87 ± 2.29 ^{cde}	0.52 ± 0.03 ^{ghi}	0.65 ± 0.04 ^{ef}	17.45 ± 1.20 ^{ef}	1 866.62 ± 31.56 ^{cd}
	B2	1.50 ± 0.04 ^{fg}	0.22 ± 0.01 ^k	9.44 ± 0.50 ^f	15.60 ± 0.60 ^h	17.23 ± 0.23 ⁱ	79.63 ± 2.27 ^g	0.74 ± 0.03 ^e	0.50 ± 0.04 ^h	10.23 ± 0.22 ^h	1 709.44 ± 25.40 ^h
硫酸铵	B3	1.33 ± 0.04 ⁱ	0.27 ± 0.02 ^j	7.52 ± 0.46 ^h	9.99 ± 0.35 ^j	14.56 ± 0.46 ^j	64.89 ± 3.11 ⁱ	1.11 ± 0.09 ^b	0.39 ± 0.01 ^{ij}	6.12 ± 0.11 ^k	1 587.72 ± 23.74 ^j
	C1	1.91 ± 0.03 ^c	0.38 ± 0.03 ⁱ	11.14 ± 0.79 ^b	18.81 ± 0.49 ^g	22.98 ± 1.08 ^{cd}	88.84 ± 2.34 ^{abc}	0.60 ± 0.04 ^f	0.60 ± 0.05 ^{fg}	16.44 ± 1.34 ^f	1 828.62 ± 26.63 ^{de}
	C2	1.91 ± 0.07 ^c	0.08 ± 0.00 ^m	10.38 ± 0.07 ^{cde}	13.44 ± 0.56 ⁱ	21.35 ± 0.75 ^{ef}	83.09 ± 1.19 ^{efg}	0.89 ± 0.05 ^c	0.43 ± 0.04 ⁱ	8.41 ± 0.3 ^{li}	1 780.39 ± 10.44 ^{fg}
碳酸铵	C3	2.14 ± 0.11 ^a	0.16 ± 0.02 ^j	10.47 ± 0.27 ^{cd}	10.53 ± 0.23 ^j	21.75 ± 1.05 ^e	81.89 ± 1.79 ^{fg}	0.93 ± 0.03 ^c	0.36 ± 0.03 ^j	6.48 ± 0.38 ^{lk}	1 762.70 ± 24.67 ^g
	D1	2.03 ± 0.09 ^b	0.79 ± 0.03 ^b	10.17 ± 0.16 ^{cde}	9.90 ± 0.10 ^j	23.00 ± 0.50 ^{cd}	82.68 ± 2.18 ^{efg}	0.46 ± 0.03 ⁱ	0.65 ± 0.04 ^{ef}	17.00 ± 0.70 ^{ef}	1 815.51 ± 22.36 ^{ef}
	D2	1.91 ± 0.10 ^c	0.53 ± 0.01 ^g	9.80 ± 0.30 ^{ef}	4.84 ± 0.24 ^k	21.80 ± 0.90 ^{de}	80.20 ± 2.20 ^g	0.52 ± 0.03 ^{ghi}	0.51 ± 0.02 ^h	11.40 ± 0.30 ^g	1 622.15 ± 13.14 ^{ij}
氯化铵	D3	1.67 ± 0.08 ^e	0.49 ± 0.02 ^h	7.83 ± 0.33 ^h	1.28 ± 0.06 ^l	18.18 ± 0.58 ⁱ	64.67 ± 1.67 ⁱ	0.73 ± 0.04 ^e	0.43 ± 0.02 ⁱ	5.93 ± 0.13 ^k	1 494.86 ± 12.92 ^k
	E1	0.80 ± 0.03 ^j	0.63 ± 0.03 ^f	10.75 ± 0.35 ^{bc}	26.35 ± 0.95 ^{cd}	23.93 ± 0.53 ^{bc}	84.58 ± 2.08 ^{def}	0.50 ± 0.02 ⁱ	0.91 ± 0.02 ^{cd}	28.20 ± 0.80 ^c	1 876.83 ± 11.81 ^c
	E2	0.67 ± 0.03 ^k	0.64 ± 0.02 ^f	10.20 ± 0.40 ^{cde}	26.81 ± 0.41 ^c	23.68 ± 0.78 ^{bc}	82.03 ± 1.83 ^{fg}	0.52 ± 0.03 ^{ghi}	1.17 ± 0.05 ^b	28.83 ± 0.93 ^{bc}	1 919.77 ± 19.80 ^{ab}
FN502	E3	0.79 ± 0.01 ^j	0.64 ± 0.02 ^f	9.85 ± 0.15 ^{def}	27.10 ± 0.70 ^c	23.25 ± 0.75 ^c	80.50 ± 1.60 ^g	0.50 ± 0.02 ⁱ	1.36 ± 0.07 ^a	29.28 ± 0.68 ^{abc}	1 828.62 ± 28.61 ^{de}
	F1	1.55 ± 0.06 ^f	0.70 ± 0.02 ^{de}	11.19 ± 0.32 ^b	29.03 ± 0.93 ^b	25.20 ± 0.80 ^a	88.96 ± 2.86 ^{abc}	0.51 ± 0.02 ^{hi}	0.93 ± 0.04 ^c	30.25 ± 0.75 ^a	1 894.53 ± 24.46 ^{bc}
	F2	1.85 ± 0.07 ^{cd}	0.67 ± 0.02 ^{ef}	11.85 ± 0.35 ^a	29.39 ± 0.39 ^b	24.85 ± 0.85 ^{ab}	90.53 ± 1.53 ^{ab}	0.52 ± 0.02 ^{ghi}	0.85 ± 0.04 ^d	29.58 ± 0.68 ^{ab}	1 889.44 ± 19.43 ^{bc}
酵母浸粉	F3	1.33 ± 0.02 ⁱ	0.71 ± 0.03 ^{de}	12.32 ± 0.32 ^a	30.62 ± 0.72 ^a	23.90 ± 0.80 ^{bc}	91.18 ± 2.18 ^a	0.51 ± 0.01 ^{hi}	0.91 ± 0.03 ^{cd}	28.51 ± 0.61 ^{bc}	1 955.32 ± 20.29 ^a

2.4 逼近理想解排序法（TOPSIS）综合评价

不同氮源对猕猴桃酒的品质指标有着不同程度的影响，且变化趋势也不尽相同，为了更科学全面的评价，本研究将酒精度、还原糖、pH 值、总酸、甲醇、总酚导入 spsspro 数据在线分析平台（www.spsspro.com）进行 TOPSIS 分析，结果见表 3。从氮源种类来看，综合得分排名前 9 的为 E1~E3、F1~F3、C1~C3 组，表明补充有机氮源 FN502、酵母浸粉和无机氮源碳酸铵所得猕猴桃酒品质更优。从添加量上看，E2、C2 和 F2 得分最高，表明 FN502、碳酸铵和酵母浸粉的最佳添加量为 0.30 g/kg，在 A、B、D 组中，A1、D1 和 B1 得分排名相对靠前，表明磷酸氢二铵、硫酸铵和氯化铵的添加量为 0.15 g/kg 时，品质更好。对照组综合排名 12，排名靠后，说明适当补氮有利于猕猴桃酒品质的提高，同时发现所有 B 组得分均小于对照组，表明硫酸铵不适合作为氮源用于猕猴桃酒发酵。

表 3 TOPSIS综合评价结果				
Table 3 TOPSIS comprehensive evaluation				
编号	正理想解距离 (D+)	负理想解距离 (D-)	综合得分 指数	排序
E2	0.319	0.751	0.702	1
C2	0.356	0.738	0.674	2
F2	0.354	0.729	0.673	3
F3	0.393	0.730	0.650	4
C1	0.375	0.662	0.638	5
C3	0.472	0.781	0.623	6
E1	0.417	0.647	0.608	7
E3	0.467	0.654	0.584	8
F1	0.502	0.682	0.576	9
A1	0.567	0.583	0.507	10
D1	0.524	0.536	0.505	11
DZ	0.585	0.588	0.501	12
A3	0.627	0.601	0.489	13
A2	0.597	0.485	0.448	14
B1	0.618	0.489	0.442	15
B3	0.743	0.580	0.438	16
B2	0.701	0.358	0.338	17
D3	0.825	0.291	0.261	18
D2	0.821	0.239	0.226	19

2.5 不同氮源对猕猴桃酒中挥发性成分的影响

根据“2.4”的评价结果，选取每种氮源中得分最高组别，即 A1、B1、C2、D1、E2 和 F2 共 6 组样品及对照组进行挥发性成分分析。7 组猕猴桃酒中共分离鉴定出 60 种挥发性成分，其中醇类 13 种，酯类 24 种，酸类 5 种，芳香烃类 10 种，其它类（包括烯类 2 种、酮类 2 中、醛类 1 种、烷烃类 3 种）8 种，各类挥发性成分总量见图 3，各挥发性成分含量变化情况见图 4。由图 3、4 可知，不同氮源组别挥发性成分在种类上无明显差异，但总量存在明显差异，酵母浸粉组含量高于对照组，其余组别低于对照组，硫酸铵组最低。通过聚类分析发现 7 组样品被聚为 3 类，硫酸铵组为第 I 类，氯化铵组 II 类，其它聚为第 III 类，表明在挥发性成分上硫酸铵和氯化铵组显著区别于其它组。

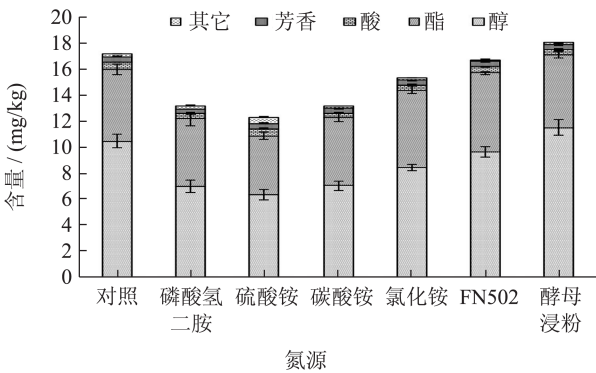


图 3 不同氮源猕猴桃酒挥发性成分的含量
Fig.3 Content of volatile components in kiwi wine with different nitrogen sources

醇类为主要的挥发性成分，含量为 6.37~11.52 mg/kg，平均占比总量 56.56%，通过添加不同的氮源发现，酵母浸粉组醇类总含量高于对照组，其余组别均低于对照组，氮源对醇类含量的影响集中体现在异戊醇和苯乙醇等高级醇上，异戊醇的合成与氨基酸代谢密切相关，酒醪中缺少氨基或富含有机氮源，都会促进异戊醇的合成^[20]，因此对照组和有机氮源组均产生了较高的异戊醇。苯乙醇^[24]是酵母重要代谢产物，特有的玫瑰香气赋予发酵产品独特风味，其主要有莽草酸途径和艾氏途径合成，其中对照组、FN502 组和酵母浸粉组含量较高，无机氮源组均较低，可能是无机氮源抑制了苯乙醇的相关合成途径。在酵母浸粉组中，二者分别比对照组高 7.92% 和 14.18%，而总量最低的硫酸铵组比对照组低 30.45% 和 63.05%。高级醇一般具

有较为强烈的刺激气味，可增加果酒香气的复杂性，但浓度过高则可能带来负面影响^[25]，因此对高级醇含量的控制十分必要。

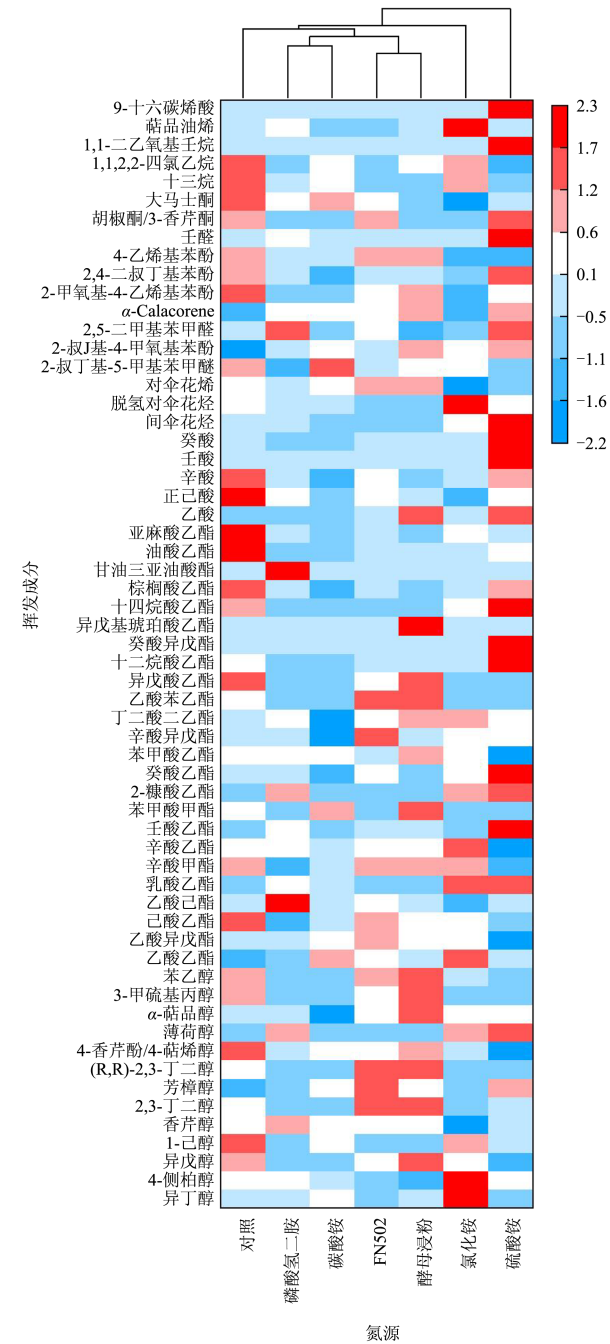


图 4 不同氮源猕猴桃挥发成分含量聚类热图

Fig.4 Clustering heat map of volatile component content of kiwi fruit with different nitrogen sources

酯类挥发性成分为重要的果香和花香来源，含量范围 4.48~6.06 mg/kg，平均占挥发成分总量的 36.26%，FN502 组含量最高，比对照组高 9.49%，硫酸铵组最低。酯类以乙酯类为主，检出乙酯类 17 种，辛酸乙酯、乙酸异戊酯、乙酸乙酯、己酸乙酯、

癸酸乙酯为主要的酯类。辛酸乙酯具有菠萝的甜香气味，平均含量 2.24 mg/kg，占酯类的 41.27%，氯化铵组含量最高，比最低的硫酸铵组高 36.58%，比对照组高 8.73%。乙酸异戊酯具有香蕉香味，平均含量 1.10 mg/kg，占酯类的 19.78%，FN502 组和酵母浸粉组含量较高，FN502 组比最低硫酸铵组约高 6 倍，比对照组高 42.33%。乙酸乙酯有强烈的醚类气味，微带果香，平均含量 0.45 mg/kg，占酯类的 8.32%，氯化铵组含量最高，比最低的对照组高 135.66%。己酸乙酯具有成熟水果的果香，平均含量 0.52 mg/kg，占酯类的 9.52%，对照组含量最高，比最低的磷酸氢二铵组高 30.97%。酯类的形成同酵母的氨基酸代谢和糖代谢联系密切^[26]，因此，补氮对酯类的影响同醇类相似，由图 2 可知，酯类含量变化趋势与醇类同步。

7 组样品共检出 5 种酸类挥发性成分，其中 4 个为共有成分，含量范围 0.34~0.58 mg/kg，平均占挥发性成分总量的 3.04%，硫酸铵组总含量最高，比对照组高 6.61%，碳酸铵组最低。辛酸、己酸、乙酸为主要的酸类物质，辛酸一般呈酸败气味，浓度较低时可有奶酪、脂肪的香气，平均含量 0.32 mg/kg，占酸类的 70.09%，对照组含量最高，比最低的碳酸铵组高 72.64%。酸类成分浓度较低时可呈奶油和奶酪香，并能与醇类形成酯类，起到协调、平衡酒体香气增加香气复杂性的作用^[27]，但含量过高则会产生异味。

芳香烃类通常具有特殊气味，共检出 10 种芳香烃类挥发性成分，其中 7 个为共有成分，含量范围 0.35~0.43 mg/kg，平均占挥发成分总量的 2.59%，脱氢对伞花烃和 4-乙基苯酚为主要的芳香烃类成分，分别占芳香烃类的 32.71% 和 19.94%。脱氢对伞花烃为有柑橘香气的单萜，在氯化铵组中含量最高，其它各组差异不大。4-乙基苯酚在果酒中多为香豆酸和阿魏酸的代谢产物，在对照组、FN502 和酵母浸粉组中含量较高，无机氮源组中含量较低。

其它类挥发成分共 8 种，4 个为共有成分，含量为 0.14~0.47 mg/kg，平均占挥发性成分的 1.55%，硫酸铵组中壬醛的含量（0.30 mg/kg）显著高于其它组，其浓度低于 0.000 5% 时有新鲜的柑橘香气，为磷酸二氢铵和硫酸铵组特有。大马士酮为一种十分重要的香气成分，具有令人愉悦的水果和玫瑰香气，平均含量为 0.03 mg/kg，其嗅觉阈值极低，对猕猴桃香气有着重要影响。

2.6 不同氮源对猕猴桃酒感官评分的影响

根据“2.4”的评价结果,选取每种氮源中得分最高组别,即A1、B1、C2、D1、E2和F2共6组样品及对照组进行感官评价,结果见图5。不同外氮源下猕猴桃酒感官特评价差异明显。得分最高者为FN502,其次是对照组,最低为硫酸铵组。在外观色泽方面,其它各组均表现良好,酵母浸粉组酒液存在轻微失光,这可能是酵母浸粉中含有少量可溶性蛋白有关^[3]。在香气方面,对照和FN502组表现最好,磷酸氢二铵和氯化铵次之,硫酸铵、碳酸铵和酵母浸粉组表现较差,硫酸铵和碳酸铵组香气不足,酵母浸粉组有轻微的酵母浸粉气味。张超等^[10]的研究也发现添加酵母浸粉会带来异味的问题,邓山鸿等^[12]则发现添加磷酸氢二铵、硫酸铵等碳源会削弱水果和花香味。在滋味方面各组整体表现较差,突出问题为酸度过高,尤其是硫酸铵和氯化铵组,只有碳酸铵和FN502组得分稍高,与这两组酒样pH值较高有关。在典型性方面,各组得分均低于对照组,猕猴桃的风格特点稍有不足。

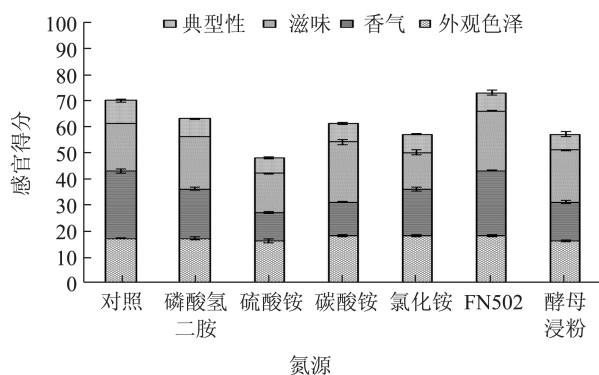


图5 不同氮源猕猴桃酒的感官特性

Fig.5 Sensory characteristics in kiwi wine with different nitrogen sources

3 结论

本研究通过对比添加不同种类、浓度的氮源发现,补充氮源对酵母的发酵速率有明显促进作用,除氯化铵外,其他氮源可缩短2~3 d的发酵时间;有机氮源和碳酸铵组相比对照组总酸降低了1.75%~10.23%;无机氮源的添加显著降低了酚类物质的含量,总酚下降1.50%~19.48%,绿原酸下降48.56%~94.95%,而有机氮源则影响较小;逼近理想解排序法综合评价显示,添加量为0.30 g/kg的FN502、碳酸铵和酵母浸粉组理化品质最佳。

猕猴桃酒中共检出挥发性成分60种,以醇类和

酯类为主,分别占挥发性成分的56.56%和36.26%,主要物质有异戊醇、苯乙醇、4-萜烯醇、辛酸乙酯、乙酸异戊酯、乙酸乙酯、己酸乙酯等。与对照组相比,酵母浸粉组醇类提高了10.06%,FN502酯类提高了9.49%,挥发性成分总量最高。在感官评价方面,猕猴桃酒整体存在口感偏酸的情况,FN502组因存在一定降酸作用故感官得分最高。综上,猕猴桃酒发酵过程中补充0.30 g/kg有机氮源可提升其品质。

参考文献

- [1] PARK Y S, HE L M, HAM K S, et al. Quantitative assessment of the main antioxidant compounds, antioxidant activities and FT-IR spectra from commonly consumed fruits, compared to standard kiwi fruit [J]. LWT-Food Science and Technology, 2015, 1: 346-352.
- [2] LI XCH, XING Y G, CAO L, et al. Effects of six commercial *saccharomyces cerevisiae* strains on phenolic attributes, antioxidant activity, and aroma of kiwifruit (*Actinidia deliciosa* cv.) wine [J]. BioMed Research International, 2017, 2017: 2934743.
- [3] 张龙飞,刘潇潇,马娟,等.红心猕猴桃发酵液的工艺优化及其风味分析[J].现代食品科技,2021,37(5):212-219.
- [4] WU Z, CHEN T, YANG EH, 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): 25-40.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] SMIT I, PFLIEHINGER M, BINNER A, et al. Nitrogen fertilisation increases biogenic amines and amino acid concentrations in *Vitis vinifera* Riesling musts and wines [J]. Journal of the Science of Food & Agriculture, 2014, 94(10): 2064.
- [8] 秦伟帅,董书甲,姜凯凯,等.采用顶空固相微萃取和气质联用法分析氮源浓度对酵母香气物质合成的影响[J].食品与发酵工业,2017,43(3):61-65.
- [9] 原梦梦,李金宸,李贺贺,等.氮源对葡萄酒酵母发酵性能影响的研究进展[J].中国酿造,2023,42(2):1-9.
- [10] 张超,王玉霞,胡小英.氮源种类及浓度对青梅果酒发酵性能的影响[J].食品研究与开发,2015,36(21):164-167.
- [11] 宋洋波,张碧颖,石侃,等.不同初始酵母可同化氮浓度对苹果酒发酵过程中硫化氢生成量的影响[J].现代食品科技,2023,39(3):66-74.
- [12] 邓山鸿,陈钢.氮源对低温发酵脐橙果酒挥发性成分的影响[J].食品工业科技,2020,41(20):92-98,103.

- [13] 卢丽娜.外加氮源、环境温度对黄酒品质影响的研究[D].杭州:浙江农林大学,2023.
- [14] 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.
- [15] 谢诗怡,韩月,张烨,等.不同有机氮源对葡萄酒发酵的影响[J].中国酿造,2018,37(4):38-43.
- [16] 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: 113738-113748.
- [17] 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.
- [18] 孙悦.不同氮素水平对酿酒酵母混合发酵特征的影响及其代谢物研究[D].杨凌:西北农林科技大学,2016.
- [19] 商玉荟.可同化氮对无核荔枝酒发酵品质的影响研究[D].海口:海南大学,2018.
- [20] 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.
- [21] 张良英,刘林,于立杰,等.软枣猕猴桃果实发育期品质指标及抗氧化能力的变化[J].食品与机械,2023,39(7):157-164.
- [22] 耿嘉钰,程焕,张惠玲.枸杞酒酿造过程中的酚酸降解规律[J].食品与发酵工业,2021,47(5):79-85.
- [23] 高媛,马帅,代敏,等.果蔬酚酸生物合成及代谢调控研究进展[J].食品科学,2018,39(9):286-293.
- [24] 陈胜,王文欣,刘子雄,等.吡哆醇对鲁氏接合酵母高盐胁迫耐受的影响[J].食品与生物技术学报,2023,42(9):36-44.
- [25] 田树林,郑升海,杨开龙,等.不同蒸馏工艺的桑葚白兰地原酒品质比较分析[J].现代食品科技,2023,39(2):290-296.
- [26] 肖冬光.白酒酿造过程中酯类物质形成机理探讨[J].酿酒科技,2022,9:17-24.
- [27] SWIEGERS J H, PRETORIUS I S. Yeast modulation of wine flavor [J]. Advances in Applied Microbiology, 2005, 57: 131-175.