

不同品种梨发酵果酒品质评价及 挥发性化合物分析

牛佳佳¹, 张 柯¹, 崔 巍¹, 郭超峰², 徐振玉², 鲁云凤³, 苗建银⁴, 张四普^{1*}

(1. 河南省农业科学院园艺研究所, 郑州 450002; 2. 宁陵县农业农村局, 商丘 476700; 3. 南阳师范学院生命科学与农业工程学院, 南阳 473061; 4. 华南农业大学食品学院, 广东省功能食品活性物重点实验室, 广州 510642)

摘 要: **目的** 分析不同品种梨发酵果酒的品质指标及挥发性化合物, 探究适宜的梨酒加工品种。 **方法** 以河南省主栽的酥梨、圆黄、早酥红、中梨 1 号和晚秋黄 5 个梨品种为原料制备发酵果酒, 比较采用不同品种梨所酿梨酒的酒精度、色度、总糖含量、总酸含量、总酚和黄酮含量等理化指标, 对发酵梨酒的外观、香气、滋味和典型性进行感官评价, 对理化指标和感官评分进行相关性分析, 并对不同品种梨发酵果酒进行挥发性化合物鉴定。 **结果** 梨品种是决定梨果酒品质的首要因素, 发酵梨酒的总酚含量对酒体色泽和口感有决定性作用; 晚秋黄梨酒的感官评分最高, 酒精度(12.83% vol)、糖酸比(0.96)、黄色度(0.225)、黄酮含量(683.63 mg/100 mL)最高, 总酚含量较低(5.45 mg/100 mL)。5 种梨发酵果酒样品中共定性出 19 种挥发性化合物, 其中, 酯类 7 种、醇类 5 种、醛类 4 种、酮类 2 种、酸类 1 种, Gallery Plot 指纹图谱和主成分分析(principal components analysis, PCA)结果均可将 5 种梨发酵果酒样品有效区分。 **结论** 晚秋黄梨为适宜的酿酒品种, 所酿梨酒色泽金黄、果香浓郁、酒体丰满、醇厚协调、典型性突出。

关键词: 梨; 发酵果酒; 理化指标; 感官评价; 气相色谱-离子迁移谱; 挥发性化合物

Quality evaluation and volatile compounds analysis of fermented fruit wines of different pear varieties

NIU Jia-Jia¹, ZHANG Ke¹, CUI Wei¹, GUO Chao-Feng², XU Zhen-Yu², LU Yun-Feng³,
MIAO Jian-Yin⁴, ZHANG Si-Pu^{1*}

(1. Horticulture Research Institute of Henan Agricultural Science Academy, Zhengzhou 450002, China; 2. Agricultural Bureau of Ningling County, Shangqiu 476700, China; 3. College of Life Sciences and Agricultural Engineering, Nanyang Normal University, Nanyang 473061, China; 4. College of Food Science, South China Agricultural University, Guangdong Provincial Key Laboratory of Nutraceuticals and Functional Foods, Guangzhou 510642, China)

ABSTRACT: Objective To analyze the quality evaluation and volatile compounds of fermented fruit wines of different pear varieties, and explore suitable pear wine processing varieties. **Methods** Five pear varieties including DangshanSuli, Wonhwang, Zaosuhong, Zhongli No.1 and Wanqiu Huangli mainly planted in Henan Province were used as test materials to prepare fermented fruit wines, the physical and chemical indexes including alcohol content,

基金项目: 河南省大宗水果产业技术体系项目(S2014-11-G04)、河南省农业科学院科技创新团队资助项目(2022TD23)

Fund: Supported by the Technical System of Bulk Fruit Industry in Henan Province (S2014-11-G04), and the Science and Technology Innovation Team Project of Henan Agricultural Science Academy (2022TD23)

***通信作者:** 张四普, 博士, 副研究员, 主要研究方向为果品保鲜加工。E-mail: spz3554101@126.com

***Corresponding author:** ZHANG Si-Pu, Ph.D., Associate Professor, Horticulture Research Institute of Henan Agricultural Science Academy, No.116, Huayuan Road, Jinshui District, Zhengzhou 450002, China. E-mail: spz3554101@126.com

color, total sugar content, total acid content, total phenol and flavonoid content of fermented pear wine were compared, the appearance, aroma, taste and typicality of pear wine were evaluated, and correlation analysis was conducted between physical and chemical indexes and sensory evaluation scores, and volatile compounds of fermented fruit wines of different pear varieties were identified. **Results** Pear variety was the primary factor to determine the quality of pear wine, the total phenol content had a decisive effect on the taste and color of fermented pear wine. Wanqiu Huang pear wine had the highest sensory score, the content of alcohol (12.83% vol), sugar/acid ratio (0.96), yellowness (0.225) and flavonoid content (683.63 mg/100 mL) were the highest, and the total phenol content was relatively low (5.45 mg/100 mL). A total of 19 volatile compounds were identified in 5 kinds of fermented pear wine samples, including 7 kinds of ester substances, 5 kinds of alcohols, 4 kinds of aldehydes, 2 kinds of ketone and 1 kinds of acids, Gallery Plot fingerprint and principal components analysis (PCA) results could differentiate 5 kinds of fermented pear wine samples and find out the characteristics volatile compounds. **Conclusion** Wanqiu Huang pear is a suitable wine making variety. The pear wine is golden in color, rich in fruit flavor, full bodied, mellow and harmonious, and outstanding in typicality.

KEY WORDS: pear; fermented fruit wines; physical and chemical indexes; sensory evaluation; gas chromatography-ion mobility spectrometry; volatile compounds

0 引 言

梨属于蔷薇科(Rosaceae)梨亚科(Pomoideae)梨属(*Pyrus* L.)植物,是我国三大水果之一,其栽培面积、产量、出口量及品种数量等均居世界前列^[1]。河南省的梨产业在全国有着重要的位置,据中国统计年鉴显示,2020 年河南梨产量 138.2 万 t,仅次于河北、新疆,位居全国第 3 位。目前,梨还存在采收期集中、上市量大、等级下商品果多、贮藏损耗高等诸多问题。加工梨酒可以消耗非商品果和产销过剩的梨果,缓解滞销矛盾,提高产品附加值。近年来,随着人们健康理念的转变,酒的需求也从高度酒向低度酒、从粮食酒向果酒转变^[2]。目前,梨酒研究主要集中在酵母选择优化^[3]、工艺条件优化^[4-5]等方面,梨果酿酒品种选择方面报道较少,赵国群等^[6]曾对雪花梨、黄冠梨、南果梨、鸭梨、丰水梨、香蕉梨 6 个品种梨酒品质进行综合评价,王景涛等^[7]以河北省常见的鸭梨、雪梨、黄冠、黄金、圆黄、五九香、香水梨和大黄梨为原料进行梨酒发酵品质分析,孔令辰等^[8]对丰水梨、黄金梨、雪梨、水晶梨和莱阳茌梨 5 个品种制酒适宜性进行了研究,但以上研究仅局限于对梨酒的理化指标及感官评价进行比较分析,且品种选择不一。实际上,果酒品质评价是一个多方面的系统工作,评价应对果酒的视觉、嗅觉、味觉进行多方面的判断^[9],果酒香气成分能够体现果酒产品质量和风格特色,因此香气成分分析是果酒品质评价的重要内容。随着现代仪器分析的发展,仪器解决了嗅闻法和风味强度法等感官评价方法受评价人员的嗜好性或敏感性影响结果不稳定的问题^[10],色谱分析技术成为香气成分分析的重要方法,气相色谱-离子迁移谱(gas chromatography-ion mobility spectrometry,

GC-IMS)技术具有无需预处理、分辨率较高的特点^[11],已被广泛应用于食品掺假检测^[10]、产地识别^[11]、食品贮藏过程中香气变化^[12]及果酒挥发性化合物分析^[13]中。

本研究以河南省大面积栽培的酥梨(DangshanSuli)、晚秋黄(Wanqiu Huangli)、早酥红(Zaosuhong)、圆黄(Wonhwang)和中梨 1 号(Zhongli No.1) 5 个梨品种为原料进行发酵果酒酿制(酥梨、晚秋黄、早酥红和中梨 1 号还未进行过酿酒品种选择研究)通过对 5 个品种梨酒的酒精度、色度、总糖含量、总酚含量等理化指标进行检测,并对其进行感官评价,应用 GC-IMS 技术对梨酒挥发性化合物进行分析,探究适宜的梨酒加工品种,为不同品种梨的精深加工、丰富果酒市场提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

圆黄、中梨 1 号、早酥红采自国家梨产业技术体系郑州综合试验站,酥梨采自商丘宁陵石桥镇,晚秋黄采自邓州市九龙镇。果实采收成熟度在 8.5~9.0 之间,果实选择标准为:颜色、成熟度、大小均匀一致,且无病虫害和机械伤;蔗糖购自超市。

Lalvin QA23 活性干酵母[拉曼生物科技(北京)有限公司];亚硫酸钠(纯度 $\geq 96\%$,湖南岳阳三湘化工有限公司);重铬酸钾、浓硫酸(分析纯,天津市恒兴化学试剂制造有限公司);无水乙醇、氢氧化钠(分析纯,烟台市双双化工有限公司);酚酞(分析纯,天津市登科化学试剂有限公司);福林酚(分析纯,上海源叶生物科技有限公司);碳酸钠、亚硝酸钠(分析纯,郑州派尼化学试剂厂);硝酸铝(分析纯,天津希恩思生化科技有限公司);没食子酸、芦丁(分析纯,上

海索莱宝生物科技有限公司)。

1.2 仪器与设备

PAL-1 型手持折光仪(日本 ATAGO 公司); FE-28 酸度计[梅特勒-托利多公司]; BSA423S-CW 电子秤[感量 1 mg, 德国赛多利斯公司]; A590 双光束紫外可见分光光度计[翱艺仪器(上海)有限公司]; FlavourSpec 空气相色谱-离子迁移谱仪(德国 G.A.S 公司); WAX 色谱柱(30 m×0.53 mm, 1 μm)(美国 RESTE 公司); HC-2518R 高速冷冻离心机(安徽中科中佳科学仪器有限公司); ZDJ-4B 自动电位滴定仪(上海仪电科学仪器股份有限公司); JYZ-E16 九阳原汁机(杭州九阳小家电有限公司); 12 L 发酵罐(山东帝伯仕有限公司)。

1.3 试验方法

1.3.1 发酵梨酒酿制

工艺流程: 梨→清洗→破碎→榨汁→成分调整→接种酵母→主发酵→倒罐→后发酵。

将梨洗净后榨汁, 过滤, 根据梨汁成分调整: 加入蔗糖调整 Brix 至 20%, pH 4.2, 加入 5%蔗糖温水溶解干酵母, 酵母添加量为 1.5%, 25℃酒精发酵, 发酵罐装载量 75%。当酒精度连续 3 d 无明显变化时, 主发酵结束。倒罐, 去除酒中的沉淀物, 添加二氧化硫 30 mg/L, 后发酵在 20℃进行, 时间为 20 d, 满罐发酵, 之后进行理化指标测定、感官评价和挥发性化合物鉴定。设置 3 次重复试验。

1.3.2 理化指标测定

果实硬度、可滴定酸(titratable acid, TA)含量和可溶性固形物(total soluble solid, TSS)含量参照牛佳佳等^[1]的方法; 酒精度采用重铬酸钾氧化法^[14]; 总酸采用滴定法^[15]; 总糖采用 3,5-二硝基水杨酸法^[16]; pH 采用酸度计测定; L^* 、 a^* 、 b^* 采用色差计测定, 以早酥红梨酒为参照计算色差值 $\Delta E^*_{ab} = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$; 梨酒黄色度(OD₄₂₀)参照王景涛等^[7]的方法测定; 透光度(OD₆₈₀)参照刘明等^[17]的方法测定; 总酚和黄酮含量参照万景瑞等^[18]的方法测定。

1.3.3 感官评价

由于不同品种梨果酒颜色范围广、澄清度差别大, 增加了外观分值比重, 参照 GB/T 15038—2006《葡萄酒、果酒通用分析方法》并略做修改制定评分标准细则, 详见表 1。感官测评小组由 7 名经过果酒品评培训的人员组成, 3 女 4 男, 年龄 23~58 岁不等, 在室温条件下的品酒室内, 从外观、香气、滋味及典型性 4 方面分别评分。

1.3.4 GC-IMS 测定挥发性成分

参照张卜升等的^[19]方法略有修改, 取 100 μL 果酒, 置于 20 mL 顶空瓶中, 以 500 r/min 转速, 60℃孵育 10 min 后进样。应用软件内置的 NIST 数据库和 IMS 数据库可对物质进行定性分析。

表 1 梨酒感官评分标准

Table 1 Sensory evaluation standards of pear wine

项目	梨酒感官要求	分值
外观: 色泽 (10 分)	金黄色或深金色	8~10
	中黄色或暗黄色、淡黄色	5~7
	褐色或中褐色	<5
外观: 澄清度 (5 分)	澄清透明、有一定光泽	4~5
	基本澄清、有一定光泽	<4
香气 (30 分)	酒香和果香浓馥、优雅、和谐	25~30
	酒香和果香较少、无明显不良气味	15~24
	酒香和果香不足、有明显不良气味	<15
	酒体丰满、醇厚协调、酸甜适中、 舒服爽口	30~35
滋味 (35 分)	具有较好的梨酒风味、酸甜适当、 柔和爽口	25~29
	梨酒风味一般、酒体协调、纯正无杂	20~24
	苦、涩、酸明显, 酒体寡淡、不协调	<20
典型性 (20 分)	典型性突出、风格独特	15~20
	有典型性、风格良好	10~14
	典型性欠缺、风格一般	<10

1.4 数据分析

使用 Excel 2010 处理数据; SPSS 19.0 进行分析。使用 Gallery Plot 插件进行指纹图谱对比, Dynamic PCA 插件进行动态主成分分析(principal components analysis, PCA)。

2 结果与分析

2.1 不同品种梨果实品质

圆黄果肉淡黄, 其余 4 个品种果肉颜色均为白色, 早酥红果肉呈现酸甜, 其余 4 个品种果肉均呈甜的风味。由表 2 可知, 圆黄果肉硬度最高, 为 5.52 kg/cm², 中梨 1 号硬度最低; 与果实风味相关性最大的两个指标是 TSS 含量和 TA 含量^[20], 这两个指标对果酒的品质与风味也会产生重要影响^[21]。TSS 含量和 TA 含量均以圆黄品种最高, 分别为 13.60%和 1.53 g/L, 中梨 1 号的 TSS 含量和 TA 含量最低, 分别为 11.60%和 0.72 g/L, 不同梨品种 TSS 含量差异显著, 其含量高低也决定了外源糖添加量, 其中, 中梨 1 号进行成分调整需要添加更多蔗糖; 有机酸是水果及其加工产品中重要的风味物质, 影响果酒的协调性、口感、典型性, 还参与发酵和陈酿过程中酯类香气物质的合成^[22], 段敏杰等^[23]从 6 个砂梨品种中共检出 8 种有机酸和 4 种糖, 且发现各品种间有机酸和糖的含量及组分存在差异, 这也决定了不同品种梨所酿造的梨酒风味存在差别; 另外, 晚秋黄是一种带有哈密瓜香味的梨^[24], 梨酒发酵过程可保留鲜梨的特征性香气物质^[25], 更有利于果酒香气形成。

表 2 不同品种梨果实品质指标			
Table 2 Fruit quality indexes of different pear varieties			
品种	硬度/(kg/cm ²)	TSS/%	TA/(g/L)
圆黄	5.52±0.13 ^a	13.60±0.00 ^a	1.53±0.03 ^a
中梨 1 号	4.01±0.25 ^c	11.60±0.03 ^{cd}	0.72±0.00 ^d
早酥红	4.73±0.33 ^b	12.63±0.00 ^b	1.31±0.03 ^{ab}
酥梨	4.71±0.50 ^b	12.31±0.00 ^c	1.11±0.00 ^c
晚秋黄	4.87±0.42 ^b	12.57±0.03 ^b	1.42±0.00 ^a

注: 同列小写字母不同表示差异显著($P<0.05$), 下同。

2.2 不同品种梨发酵果酒理化指标

由表 3 可知, 5 种梨酒的酒精度 $<18\%$ vol, 总酸含量在 4.0~9.0 g/L 之间, 总糖 <12.0 g/L, 符合 NY/T 1508—2017《绿色食品 果酒》标准要求。各品种梨酒酒精度、TSS 含量、总糖和总酸含量存在显著差异, 晚秋黄梨酒的酒精度(12.83% vol)、TSS 含量(8.90%)、总糖含量(8.21 g/L)最高, 早酥红梨酒的酒精度和总酸含量最低。酒精度越高, 酒味越浓, 说明晚秋黄梨酒的酒味最浓, 早酥红梨酒最柔和; TSS 含量表示糖、酸、维生素、果胶等所有溶解于水的化合物总称, 晚秋黄和酥梨梨酒中 TSS 含量显著高于且其他品种, 说明其所含化合物丰富; 果酒中适当的酸含量有利于增加果酒适口性, 还有改善酒体颜色、抑制杂菌、增加酒体稳定性的作用^[26], 在总糖含量低的情况下, 人的味觉对酸度的敏感性会更强, 酸度过高会造成酒体酸、粗糙^[3]。因此, 果酒具有适合的糖酸比口感才会协调。中梨 1 号糖酸比最低, 为 0.51, 圆黄糖酸比为 0.80, 晚秋黄、酥梨和早酥红 3 个品种梨酒糖酸比介于 0.90~0.96 之间。不同种类果酒糖酸比值差异较大, 雪花梨酒采用还原糖/总酸计算的糖酸比在 0.280~0.557 之间^[27], 猕猴桃酒最佳的糖酸比为 5.83^[28], 黑莓、蓝莓复合果酒为 10.0^[29], 由于果品

种类和测定方法不同, 果酒适宜糖酸比尚未有确切的适宜范围, 但糖酸比影响果酒的适口性得到学者们认同^[27-29]。

酚类物质是果酒重要功能性成分, 也是影响果酒色泽的重要因素^[30]。圆黄梨酒总酚含量最高, 早酥红最低; 酚类物质的氧化会造成酒体褐化加剧^[30]。 L^* 反映酒的亮度, L^* 越大, 亮度越高, L^* 越小, 色泽越暗, 酥梨果酒亮度最高, 其次是晚秋黄, 早酥红 L^* 最小, a^* 反映果酒色泽的红绿偏向, 其正值越大表示酒体红色程度越高, 圆黄 a^* 最高, 早酥红 a^* 最低, b^* 反映果酒颜色的黄蓝偏向, 正值越大颜色越黄色, 负值越小颜色越蓝, 早酥红 b^* 最高, 酥梨 b^* 最低, ΔE^*_{ab} 反映果酒样品间颜色差异大小, 以早酥红梨酒为参照, ΔE^*_{ab} 值越大颜色差别越大, 酥梨 ΔE^*_{ab} 最大, 为 1.52, 晚秋黄其次。OD₄₂₀ 越大, 梨酒的黄色程度越高, 晚秋黄 OD₄₂₀ 值最高, 黄酮含量也最高, 这与黄酮类化合主要呈黄色有关^[31]。OD₆₈₀ 表示果酒透光度, 透光度越高, 梨酒越澄清, 早酥红酒澄清度最高, 为 93.1, 酥梨酒澄清度最低, 为 43.1。综上, 圆黄梨酒总酚含量最高, a^* 最大, 晚秋黄梨酒酒精度、总糖含量、黄酮含量、糖酸比、OD₄₂₀ 值最高, 酥梨酒 L^* 、 ΔE^*_{ab} 最高, 早酥红梨酒透光度最高(表 3~4)。

2.3 不同品种梨发酵果酒感官评价

不同品种梨酒感官评定结果见表 5。各梨酒的感官评分存在显著差异, 晚秋黄梨酒感官评分最高, 圆黄评分最低。在色泽方面, 以早酥红表现最优, 呈深金色, 圆黄由于总酚含量最高, 酚类物质的氧化会造成酒体褐化加剧^[31], 褐变最严重, 呈中褐色, 酒体色泽受评审者视觉偏差主观影响与仪器测定值不一致, 采用仪器测定的晚秋黄酒 OD₄₂₀ 值最大, 黄色程度最高, 但早酥红梨酒由于透光度高, 受视觉影响评价为深金色, 优于深黄色的晚秋黄梨酒; 澄清度方面早酥红酒澄清度最高透光度 OD₆₈₀ 值为 93.1, 酥梨和

表 3 不同品种梨发酵果酒各指标							
Table 3 Basic physical and chemical indexes of fermented fruit wines of different pear varieties							
品种名	酒精度/% vol	TSS/%	总糖/(g/L)	总酸/(g/L)	糖酸比	总酚/(mg/100 mL)	黄酮/(mg/100 mL)
圆黄	11.83±0.40 ^c	7.70±0.00 ^b	5.03±0.18 ^b	6.27±0.01 ^c	0.80±0.03 ^b	7.00±0.23 ^a	207.60±1.00 ^d
中梨 1 号	10.79±0.28 ^c	7.13±0.03 ^c	3.38±0.28 ^c	6.60±0.03 ^a	0.51±0.05 ^b	6.74±0.22 ^a	124.91±0.67 ^c
早酥红	10.12±0.14 ^c	7.00±0.00 ^d	5.68±0.24 ^b	5.95±0.00 ^c	0.95±0.04 ^a	5.06±0.43 ^b	222.66±6.03 ^c
酥梨	12.49±0.18 ^{ab}	8.87±0.03 ^a	8.07±0.33 ^a	8.95±0.02 ^d	0.90±0.04 ^a	6.31±0.04 ^a	377.99±2.20 ^b
晚秋黄	12.83±0.11 ^a	8.90±0.00 ^a	8.21±0.56 ^a	8.59±0.01 ^b	0.96±0.06 ^a	5.45±0.12 ^b	683.63±2.01 ^a

表 4 不同品种梨发酵果酒色泽指标						
Table 4 Color indexes of fermented fruit wines of different pear varieties						
品种名	黄色度(OD ₄₂₀)	透光度(OD ₆₈₀)	L^*	a^*	b^*	ΔE^*_{ab}
圆黄	0.134±0.00 ^d	84.0±0.00 ^b	28.06±0.10 ^b	0.26±0.03 ^a	-1.64±0.02 ^{bc}	0.92±0.09 ^c
中梨 1 号	0.149±0.00 ^c	83.0±0.00 ^c	27.97±0.09 ^{ab}	0.21±0.04 ^{ab}	-1.61±0.01 ^b	0.81±0.09 ^c
早酥红	0.130±0.00 ^d	93.1±0.03 ^a	27.25±0.42 ^c	-0.12±0.01 ^d	-1.44±0.04 ^a	0.00±0.00 ^d
酥梨	0.167±0.00 ^b	43.1±0.12 ^c	28.66±0.03 ^a	0.12±0.02 ^{bc}	-1.97±0.05 ^d	1.52±0.05 ^a
晚秋黄	0.225±0.00 ^a	46.3±0.03 ^d	28.32±0.08 ^{ab}	0.03±0.03 ^c	-1.72±0.02 ^c	1.12±0.08 ^b

表 5 不同品种梨发酵果酒感官评价结果
Table 5 Results of sensory evaluation of fermented fruit wines of different pear varieties

梨品种	色泽	澄清度	香气	滋味	典型性	总评分
圆黄	2.67±0.33 ^c	3.00±0.00 ^b	10.00±0.15 ^d	15.67±0.76 ^d	10.67±0.88 ^c	42.00±2.00 ^d
中梨 1 号	5.67±0.33 ^b	3.00±0.00 ^b	16.33±0.88 ^c	21.00±0.58 ^c	13.00±0.58 ^b	59.00±1.15 ^c
早酥红	8.33±0.33 ^a	4.67±0.33 ^a	24.00±0.58 ^b	27.67±0.88 ^b	13.00±0.58 ^b	77.67±1.45 ^b
酥梨	5.67±0.33 ^b	2.33±0.33 ^b	16.00±1.00 ^c	24.00±0.58 ^c	14.00±0.58 ^b	62.00±1.53 ^c
晚秋黄	6.67±0.33 ^b	2.33±0.33 ^b	28.00±0.58 ^a	31.67±0.88 ^a	18.33±0.33 ^a	87.00±0.58 ^a

晚秋黄酒体较浑浊,OD₆₈₀值分别为 43.1 和 46.3;香气方面以晚秋黄梨酒最优,果香浓郁且持久,这与晚秋黄梨鲜果自身具有哈密瓜香味有关,早酥红次之,圆黄梨酒缺乏果香味;口感滋味方面,晚秋黄梨酒总酚含量低,酒精度、总糖含量、糖酸比均最高,因此酒体丰满、醇厚协调、酸甜适中、舒服爽口,早酥红梨酒的酒精度低、糖酸比合适,酒体和谐优雅、柔和爽口,适口性也较强,由于圆黄梨酒总酚含量高、糖酸比偏低,酚类物质含量越高苦涩感越强^[32],酒体苦、涩、酸味明显,中梨 1 号酒体寡淡无典型性。综上所述,晚秋黄梨酒入口层次丰富、典型性突出、风格独特,虽在澄清度方面有所欠缺,过滤不会影响果酒的香气和品质^[33],经过过滤可得到很好的弥补。

2.4 不同品种梨发酵果酒指标相关性分析

由表 6 可知,TSS 含量和酒精度、总糖、总酸显著正相关,透光度与酒精度、总酸、TSS 含量呈显著负相关,果酒透光度表示酒体澄清度,受酒精度、总酸和 TSS 含量共同影响,透光度越高,酒精度、总酸和 TSS 含量越低,酒体中适当的酸含量有利于改善颜色、增加稳定性^[26];ΔE*_{ab}与 L*极显著正相关,与 b*显著负相关;感官评分结果显示,评分较高的晚秋黄和早酥红梨酒的糖酸比分别为 0.96 和 0.95,果酒口感更协调,中梨 1 号和圆黄梨酒适口性差,糖酸比较低,分别为 0.51 和 0.80,但糖酸比与感官评分无直接相关性;酚类和黄酮是影响果酒色泽的重要因素^[32],相关性分析发现总酚含量和 a*显著正相关,和感官评分显著负相关,黄色度和黄酮含量呈显著正相关。即总酚含量、a*越高,梨酒的褐化严重红色程度越高,黄酮含量越高梨酒的色泽越金黄,感官评分较高的晚秋黄和早酥红梨酒均具有总酚含量低和黄酮含量高的特点,圆黄梨酒的总酚含量最高,为 7.00 mg/100 mL,酒的苦涩味越重感官评分最低,说明总酚含量影响果酒色泽的同时对口感也有决定性作用。

2.5 不同品种梨发酵果酒挥发性化合物

从各梨酒样品中共鉴定出 52 种挥发性成分,定性 19 种,其中,有 6 种挥发性成分还产生二聚体、多聚体形态(表 7),酯类物质 7 种、醇类物质 5 种、醛类物质 4 种、酮类物质 2 种、酸类物质 1 种。其中酯类和醇类物质相对含

量最高,占比分别为 36.8%和 26.3%,醛类占比 21.1%、酮类占比 10.5%、酸类占比 5.2%。

2.6 不同品种梨发酵果酒挥发性化合物指纹图谱分析

通过指纹图谱(图 1)可直观看出,不同品种梨酒的挥发性成分种类和浓度既有相似之处,又有差异。图 1 中 F 区域物质在 5 个梨品种果酒中的浓度一致,主要是:3-甲基-1-丁醇(单体、二聚体和多聚体)、乙酸乙酯、乙醇,以及未知的 20 号物质;5 个品种梨酒均有各自特征高浓度的挥发性化合物,A、B、C、D、E 分别代表晚秋黄、酥梨、圆黄、中梨 1 号和早酥红的特征挥发性物质,可用于区分样品间的差异。晚秋黄和早酥红梨酒果香浓郁,晚秋黄富含乙醛、戊醛和未知的 9 号物质,乙醛具有果香味,并有一定刺激感,戊醛具有坚果、苦杏仁、发酵香,口感辛辣,这些香气描述与晚秋黄梨酒果香浓郁、酒香浓烈,口感丰富相一致,早酥红富含的丙烯醛、乙酸异戊酯和未知的 26 号、8 号物质,丙烯醛具有果味、花香味,乙酸异戊酯具有香蕉、苹果、梨香、甜香、水果糖香,早酥红的口感为果香浓郁、柔和优雅,而圆黄富含的 1-己醇、丙醛、丙酮、丙酸乙酯,未知的 4、5、7、16、21、22、23 号物质,1-己醇会有刺鼻的气味,丙酮具有微刺激感,这两种物质会对酒的品质可能产生负面的影响^[39,45];酥梨和中梨 1 号果酒的酯类物质浓度较高,大多数酯类具有花、果香气,其对应梨酒感官描述也是有一定的果香,但酥梨酒中乙酸相对含量高,酒体粗糙、酸味明显,中梨 1 号特征富集的仅有异丁酸乙酯浓度较高,造成酒味寡淡,层次感和典型性不足。

2.7 不同品种梨发酵果酒挥发性化合物动态主成分分析

运用 Dynamic PCA 插件程序对挥发性化合物制作 PCA 图,结果如图 2 所示,各品种样品汇聚,组内距离较近或重叠,说明同一样品的重复性好。PC1 和 PC2 的贡献解释了总变异的 83%。5 个品种梨发酵果酒实现了有效分离,圆黄、中梨 1 号和早酥红在 PCA 图左侧,酥梨和晚秋黄在 PCA 图右侧,酥梨和晚秋黄挥发性化合物最为相似,而圆黄和酥梨的距离最远,挥发性化合物差异最大。

表 6 不同品种梨发酵果酒指标相关性分析

Table 6 Correlation analysis of indexes of fermented fruit wines of different pear varieties

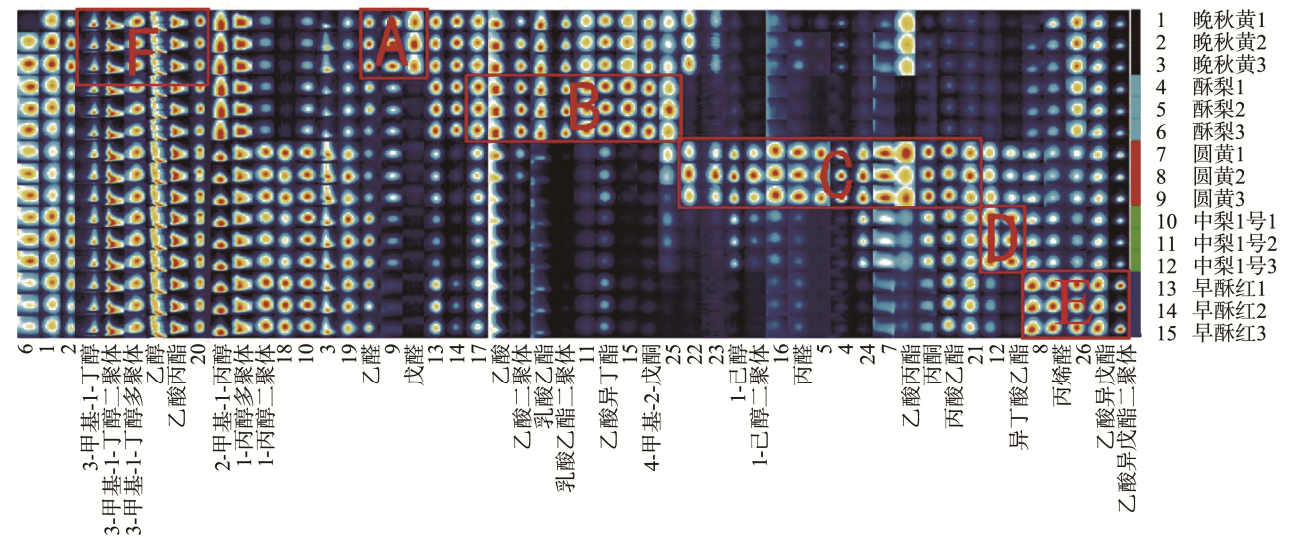
	酒精度	总糖	总酸	糖酸比	TSS 含量	黄色度	透光度	总酚	黄酮	感官评分	L^*	a^*	b^*	ΔE^*_{ab}
酒精度	1													
总糖	0.736	1												
总酸	0.848	0.830	1											
糖酸比	0.349	0.820	0.361	1										
TSS 含量	0.954*	0.884*	0.948*	0.500	1									
黄色度	0.742	0.699	0.803	0.335	0.788	1								
透光度	-0.887*	-0.845	-0.996**	-0.388	-0.970**	-0.818	1							
总酚	0.162	-0.469	-0.100	-0.686	-0.060	-0.331	0.086	1						
黄酮	0.768	0.862	0.770	0.639	0.836	0.933*	-0.800	-0.474	1					
感官评分	0.076	0.544	0.371	0.529	0.278	0.652	-0.353	-0.907*	0.675	1				
L^*	0.853	0.502	0.863	-0.049	0.827	0.592	-0.866	0.414	0.473	-0.100	1			
a^*	0.222	-0.456	0.017	-0.785	0.004	-0.120	-0.024	0.954*	-0.347	-0.747	0.513	1		
b^*	-0.805	-0.619	-0.876	-0.140	-0.843	-0.462	0.872	-0.317	-0.426	0.103	-0.946*	-0.344	1	
ΔE^*_{ab}	0.875	0.494	0.823	-0.022	0.826	0.530	-0.835	0.477	0.442	-0.096	0.990**	0.542	-0.948*	1

注: 加粗表示有差异显著性; *为相关性在 0.05 水平上显著(双侧); **为相关性在 0.01 水平上显著(双侧)。

表 7 不同品种梨发酵果酒挥发性化合物定性结果

Table 7 Qualitative results of volatile compounds in fermented fruit wines of different pear varieties

序号	化合物名称	CAS 号	相对保留指数	保留时间	(归一化后)相对迁移时间	香气特征
1	乙醛	C75070	708.1	220.392	0.96024	果香味 ^[34] 刺激气味 ^[35]
2	丙醛	C123386	789.3	255.811	1.14937	柔和香 ^[36]
3	乙酸乙酯	C141786	893.2	301.098	1.33685	甜果味 ^[34,37] 菠萝香 ^[38]
4	乙醇	C64175	979.4	354.437	1.13341	酒香 ^[37]
5	丙酮	C67641	810.1	264.868	1.11745	弱果香、刺激感 ^[39]
6	丙烯醛	C107028	817.0	267.887	1.06260	果味、花香味 ^[40]
7	1-丙醇二聚体	C71238	1038.2	414.618	1.26219	酒精味 ^[35] 辛辣味 ^[37] 醇香、水果香 ^[41]
	1-丙醇多聚体	C71238	1038.7	415.172	1.38351	
8	2-甲基-1-丙醇	C78831	1095.7	482.770	1.36691	醇香、指甲油香 ^[42] 柔和果香 ^[36]
9	乙酸异戊酯	C123922	1127.3	536.786	1.30414	香蕉香、甜香、苹果香 ^[41] 水果糖香 ^[34]
	乙酸异戊酯二聚体	C123922	1126.4	535.237	1.74905	果香 ^[38] 香蕉香、梨香 ^[43]
	3-甲基-1-丁醇	C123513	1217.9	686.929	1.24443	有青草、植物香气 ^[43] 特殊气味 ^[35] 苦杏仁味、涩味 ^[44]
10	3-甲基-1-丁醇二聚体	C123513	1213.1	679.941	1.49336	
	3-甲基-1-丁醇多聚体	C123513	1213.8	680.939	1.79436	
11	乳酸乙酯	C97643	1348.8	893.578	1.13867	果香、白兰地酒香 ^[35,38] 奶香 ^[37]
	乳酸乙酯二聚体	C97643	1349.9	895.606	1.54224	
12	乙酸	C64197	1517.8	1192.472	1.05135	刺激气味和酸味 ^[34] 苦杏仁味 ^[35] 醋香 ^[37]
	乙酸二聚体	C64197	1516.2	1189.533	1.15027	
13	丙酸乙酯	C105373	961.0	342.084	1.45299	香蕉、菠萝香 ^[34,38] 苹果 ^[37] 水果香味 ^[35]
14	乙酸异丁酯	C110190	1017.5	390.063	1.61907	果香、清香 ^[34] 草莓香 ^[35] 柔和水果酯香味 ^[38] 生梨、覆盆子香 ^[37]
15	4-甲基-2-戊酮	C108101	1018.1	390.807	1.48008	辛辣味、酮样香味、草莓香 ^[35]
16	乙酸丙酯	C109604	961.6	342.502	1.47950	柔和水果香 ^[34,37] 草莓香 ^[35]
17	戊醛	C110623	954.0	337.373	1.42305	似坚果、苦杏仁、辛香 ^[44] 特殊香味 ^[38] 辛辣味 ^[37] 发酵香 ^[36]
18	异丁酸乙酯	C97621	968.1	346.866	1.56299	香蕉、草莓果香 ^[34-35] 水果香 ^[37]
19	1-己醇	C111273	1360.2	913.827	1.32236	青草香、吐司味 ^[34-35]
	1-己醇二聚体	C111273	1359.7	912.807	1.64016	



注：横坐标为挥发物质名称，纵坐标为样品名称；图中每一行代表一个样品中选取的全部信号峰；每一列代表同一挥发性化合物在不同样品中的信号峰；数字代表迁移谱库中未定性的物质用数字代替；物质峰颜色越深代表相对含量越大。

图 1 不同品种梨发酵果酒挥发性化合物的 Gallery Plot 指纹图谱

Fig.1 Gallery Plot fingerprint of volatile compounds in fermented fruit wines of different pear varieties

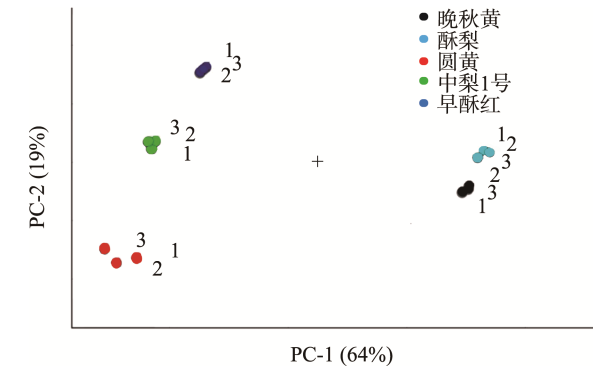


图 2 不同品种梨发酵果酒中挥发性化合物 PCA 分析

Fig.2 PCA analysis of volatile compounds in fermented fruit wines of different pear varieties

3 讨论与结论

3.1 讨论

果酒发酵是将果实中所含的糖分转化为酒精的过程，发酵过程和质量受菌株种类、原料本身的糖酸含量、发酵温度等多种因素影响^[3,7,21,41]。本研究在前期研究的基础上，选择在酥梨、晚秋黄、早酥红、圆黄和中梨 1 号各梨品种中酒精转化能力最强的 QA23 酵母进行研究，采用化学降酸和添加糖源等方式，对发酵成分和发酵环境进行统一，但由于梨自身的糖、酸、及细胞内含物不同，使得发酵后的梨酒各具特色，酒的理化指标和感官评分差异较大，说明梨品种是决定梨果酒品质的首要因素，这个观点也得到多位学者的支持^[7,21,46]。由于梨酒本身含有的蛋白质、果胶、鞣质和纤维素等大分子物质，在加工及贮藏过程中会形成沉淀物，引起酒体浑浊^[47]，

澄清处理是果酒后处理的关键步骤，5 个品种梨酒中早酥红梨酒在不经添加澄清剂或进行微滤、超滤等膜分离技术进行过滤的情况下，透光率高达 93.1%，高于或相当于经过添加澄清剂处理的南果梨(91.8%)^[47]、库尔勒香梨(93.4%)^[48]，其酒体的澄清机制有待进一步研究。

感官评价是对梨酒视觉、嗅觉、味觉方面的刺激所形成一个总体多方面印象的评价^[3]，香气和滋味是评价中的重要内容，也是果酒优劣的关键因素^[39]，果汁由于酵母菌发酵代谢形成醇类、酯类等挥发性化合物，与羟基相连的碳原子进一步氧化成醛、酮、酸等挥发性化合物。使用 GS-IMS 技术检测不同品种梨酒中的挥发性组分，可清晰看出样品间的共性与差异，弥补了人体感官分析的不足，对梨酒的品质评价工作起到很好的补充作用，为梨酒快速鉴别、酿酒品种选择、品质评价提供技术参考，结合 PCA 图发现，各品种组内距离较近或重叠，组间可有效分离。

3.2 结论

梨品种是决定梨果酒品质的首要因素，梨酒的总酚含量对酒体色泽和口感有决定性作用；晚秋黄梨酒的感官评分最高，酒精度、糖酸比、黄色度、黄酮含量最高，总酚含量最低；梨酒样品共定性出 19 种挥发性物质，其中，酯类物质 7 种，醇类物质 5 种，醛类物质 4 种，酮类物质 2 种，酸类物质 1 种，Gallery Plot 指纹图谱和 PCA 图均可将 5 种梨酒样品区分。综上，晚秋黄梨为适宜的酿酒品种，所酿梨酒色泽金黄、果香浓郁、酒体丰满、醇厚协调、典型性突出。

参考文献

[1] 牛佳佳, 张四普, 张柯, 等. 9 个梨品种综合品质评价分析[J]. 食品研究与开发, 2021, 42(17): 149–156.

- NIU JJ, ZHANG SP, ZHANG K, *et al.* Comprehensive quality evaluation and analysis of nine pear varieties [J]. *Food Res Dev*, 2021, 42(17): 149–156.
- [2] 马倩, 何靖柳, 韦婷. 发酵型猕猴桃果酒产业发展现状及前景展望[J]. *农业展望*, 2021, 17(11): 51–55.
- MA Q, HE JL, WEI T. Development status and prospects of fermented kiwi fruit wine industry [J]. *Agric Outlook*, 2021, 17(11): 51–55.
- [3] 曾智娟, 邓杰, 任志强, 等. 不同酵母菌发酵对生姜梨酒品质的影响[J]. *食品与发酵工业*, 2020, 46(1): 229–236.
- ZENG ZJ, DENG J, REN ZQ, *et al.* Effect of different yeast fermentations on ginger pear wine quality [J]. *Food Ferment Ind*, 2020, 46(1): 229–236.
- [4] 扈钦淋, 叶师, 杨春, 等. 低醇梨酒发酵工艺优化[J]. *食品研究与开发*, 2021, 42(6): 70–75.
- HU QL, YE S, YANG C, *et al.* Optimization of fermentation of low-alcohol pear wine [J]. *Food Res Dev*, 2021, 42(6): 70–75.
- [5] 赵一凡. 梨酒的酿造工艺研究[D]. 石家庄: 河北科技大学, 2019.
- ZHAO YF. Investigation on fermentation technology of pear wine [D]. Shijiazhuang: Hebei Univ Sci Technol, 2019.
- [6] 赵国群, 张晓腾, 赵一凡, 等. 冰梨酒酿酒酵母的筛选[J]. *中国酿造*, 2017, 36(6): 76–80.
- ZHAO GQ, ZHANG XT, ZHAO YF, *et al.* Screening of *Saccharomyces cerevisiae* for ice pear wine brewing [J]. *Chin Brew*, 2017, 36(6): 76–80.
- [7] 王景涛, 李雪梅, 李丽梅. 不同品种梨所酿梨酒的品质比较[J]. *河北农业科学*, 2015, 19(6): 87–91.
- WANG JT, LI XM, LI LM. Evaluation of fruit wine brewed by different cultivar pears [J]. *J Hebei Agricul Sci*, 2015, 19(6): 87–91.
- [8] 孔令辰, 王然, 戴洪义, 等. 五种梨果实制酒适性的研究[J]. *食品科技*, 2010, 35(6): 129–131.
- KONG LC, WANG R, DAI HY, *et al.* Perry-making characteristics of five pear varieties [J]. *Food Sci Technol*, 2010, 35(6): 129–131.
- [9] 张四普, 牛佳佳, 鲁云凤, 等. 不同菌株对酥梨和晚秋黄梨果酒发酵品质的影响[J]. *江西农业学报*, 2022, 34(1): 162–166.
- ZHANG SP, NIU JJ, LU YF, *et al.* Effects of different strains on fermentation quality of Crisp pear and Wanqiu Huangli pear fruit wine [J]. *Acta Agric Jiangxi*, 2022, 34(1): 162–166.
- [10] 汪立平. 苹果酒酿造中香气物质的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2004.
- WANG LP. Study on aroma compounds in apple wine brewing [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2004.
- [11] LI S, YANG H, TIAN H, *et al.* Correlation analysis of the age of brandy and volatiles in brandy by gas chromatography-mass spectrometry and gas chromatography-ion mobility spectrometry [J]. *Microchem J*, 2020, 157: 104948.
- [12] ARROYO-MANZANARES N, MARTÍN-GÓMEZ A, JURADO-CAMPOS N, *et al.* Target vs spectral fingerprint data analysis of Iberian ham samples for avoiding labelling fraud using headspace-gas chromatography-ion mobility spectrometry [J]. *Food Chem*, 2018, 246: 65–73.
- [13] MÁRQUEZ-SILLERO I, CÁRDENAS S, VALCÁRCEL M. Direct determination of 2,4,6-trichloroanisole in wines by single-drop ionic liquid microextraction coupled with multicapillary column separation and ion mobility spectrometry detection [J]. *J Chromatogr A*, 2011, 1218(42): 7574–7580.
- [14] 葛奉娟, 王欲晓, 周俊, 等. 重铬酸钾氧化比色法和气相色谱法定量分析发酵液中乙醇的比较研究[J]. *徐州工程学院学报(自然科学版)*, 2011, 26(2): 64–68.
- GE FJ, WANG YX, ZHOU J, *et al.* A comparison of two methods for quantitative analysis on ethanol content: Gas chromatography method and potassium dichromate colorimetric method [J]. *J Xuzhou Inst Technol (Nat Sci Ed)*, 2011, 26(2): 64–68.
- [15] 杨盛春, 杨明惠, 高云涛. 自动电位滴定法测不同类酒中的总酸总酯[J]. *广东化工*, 2013, 40(8): 145, 138.
- YANG SC, YANG MH, GAO YT. Automatic potentiometric titration method to measure the different types of wine in the total acid ester and comparison of the total [J]. *Guangdong Chem Ind*, 2013, 40(8): 145, 138.
- [16] 杨宁, 王伟明, 姚琳, 等. 3,5-二硝基水杨酸法测定发酵型果露酒中总糖含量[J]. *中国酿造*, 2018, 37(1): 181–184.
- YANG N, WANG WM, YAO L, *et al.* Determination of total sugar content in fermented fruit wine by 3,5-dinitrosalicylic acid method [J]. *Chin Brew*, 2018, 37(1): 181–184.
- [17] 刘明, 郭意如, 张世杰, 等. 黄桃酒澄清工艺研究[J]. *保鲜与加工*, 2020, 20(5): 94–99.
- LIU M, GUO YR, ZHANG SJ, *et al.* Studies on clarification technology of yellow peach wine [J]. *Storage Process*, 2020, 20(5): 94–99.
- [18] 万景瑞, 蒋鹏飞, 史冠莹, 等. 三种发酵酒活性成分、抗氧化活性及其香气成分对比分析[J]. *食品工业科技*, 2020, 41(21): 253–260, 265.
- WAN JR, JIANG PF, SHI GY, *et al.* Comparative analysis of active ingredients, antioxidant activity and aromatic components of three kinds of fermented wine [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2020, 41(21): 253–260, 265.
- [19] 张卜升, 高杏, 闫昕, 等. 基于 GC-IMS 技术分析石榴果酒酿制过程中挥发性风味成分的变化[J]. *食品与发酵工业*, 2022, 48(7): 252–257.
- ZHANG BS, GAO X, YAN X, *et al.* Changes of volatile flavor components during brewing of pomegranate wine based on GC-IMS [J]. *Food Ferment Ind*, 2020, 48(7): 252–257.
- [20] 冯娟, 任小林, 田建文, 等. 不同产地富士苹果品质分析与比较[J]. *食品工业科技*, 2013, 34(14): 5.
- FENG J, REN XL, TIAN JW, *et al.* Analysis and comparison of Fuji apple quality from different regions [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2013, 34(14): 5.
- [21] 张晓晴, 吕真真, 刘慧, 等. 不同品种桃果酒品质特性与酿酒适宜性评价[J]. *果树学报*, 2021, 38(8): 1368–1380.
- ZHANG XQ, LV ZZ, LIU H, *et al.* Characteristics of peach wines made from different cultivars and evaluation on their suitability for wine brewing [J]. *J Fruit Sci*, 2021, 38(8): 1368–1380.
- [22] 张方艳, 蒲彪, 陈安均. 果酒降酸方法的研究现状[J]. *食品工业科技*, 2014, 35(1): 390–393.
- ZHANG FY, PU B, CHEN ANJ. The research status of deacidification methods of fruit wine [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2014, 35 (1): 390–393.
- [23] 段敏杰, 伊洪伟, 杨丽, 等. 不同砂梨品种果实糖酸组分及含量分析[J]. *南方农业学报*, 2020, 51(9): 2236–2244.
- DUAN MJ, YI HW, YANG L, *et al.* Sugar and acid compositions and their contents in different *Pyrus pyrifolia* varieties [J]. *J Southern Agric*, 2020, 51(9): 2236–2244.
- [24] 王留超. 晚秋黄梨在河南新郑地区的表现及栽培技术[J]. *北方园艺*, 2019, (20): 173–175.
- WANG LC. Performance and cultivation techniques of Wanqiu Huang pear in Xinzheng, Henan Province [J]. *Northern Hortic*, 2019, (20): 173–175.
- [25] 李丽梅, 郑振山, 何近刚, 等. 不同品种梨酒挥发性成分的 SPME-GC-MS 结果比较[J]. *食品工业科技*, 2016, 37(11): 314–317, 331.
- LI LM, ZHENG ZS, HE JG, *et al.* Comparison of volatile components of different pear wine by SPME-GC-MS [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2016, 37(11): 314–317, 331.
- [26] 李冲, 余佳, 邹海英, 等. 不同催陈方式对槲柑果酒品质与香气成分的影响[J]. *食品与发酵工业*, 2018, 44(7): 141–147.
- LI C, YU J, ZOU HY, *et al.* Effects of different aging methods on quality changes and aroma components of Ponkan fruit wine [J]. *Food Ferment Ind*, 2018, 44(7): 141–147.
- [27] 李丽梅, 冯云霄, 何近刚, 等. 雪花梨酒综合品质评价体系的建立[J]. *食品科学*, 2020, 41(17): 23–28.
- LI LM, FENG YX, HE JG, *et al.* Establishment of comprehensive quality evaluation system for Xuehua pear wine [J]. *Food Sci*, 2020, 41(17): 23–28.

- [28] 刘淑珍, 苏颖玥, 陈红梅, 等. 酿造技术对野生猕猴桃果酒有机酸组成及其品质的影响[J]. 酿酒科技, 2021, (4): 71–78.
LIU SZ, SU YY, CHEN HM, *et al.* Influence of fermentation technology on organic acid composition and quality of wild kiwifruit wine [J]. *Liquor-Making Sci Technol*, 2021, (4): 71–78.
- [29] 赵慧芳, 刘洪霞, 赵俸艺, 等. 黑莓、蓝莓复合果酒的加工工艺及贮藏稳定性研究[J]. 酿酒科技, 2021, (7): 89–94.
ZHAO HF, LIU HX, ZHAO FY, *et al.* Processing technology and stability during storage of blackberry-blueberry wine [J]. *Liquor-Making Sci Technol*, 2021, (7): 89–94.
- [30] 邱咏梅, 刘爱国, 刘晓慧, 等. 黑比诺起泡葡萄酒基酒多酚物质的氧化控制研究[J]. 中外葡萄与葡萄酒, 2021, (5): 26–31.
QIU YM, LIU AIG, LIU XH, *et al.* Study on oxidation control of polyphenols in base Pinot Noir sparkling wine [J]. *Sino-Overseas Grapevine Wine*, 2021, (5): 26–31.
- [31] 刘星雨, 周敏, 孙体健. 天然黄酮类化合物的药理活性及分离提取[J]. 中国药物与临床, 2014, (5): 621–624.
LIU XY, ZHOU M, SUN TJ. Pharmacological activity and isolation and extraction of natural flavonoids [J]. *Chin Remed Clin*, 2014, (5): 621–624.
- [32] 王燕, 李德美, 孙智文, 等. 赤霞珠干红葡萄酒酚类物质及其与苦涩感的关联性分析[J]. 食品与发酵工业, 2022, 48(7): 91–96.
WANG Y, LI DM, SUN ZW, *et al.* Phenolics compounds in Cabernet Sauvignon wine and their correlation with astringency [J]. *Food Ferment Ind*, 2022, 48(7): 91–96.
- [33] 纵伟, 安广杰. 超滤对黄金梨干酒香气成分的影响[J]. 食品与机械, 2007, (5): 34–36.
ZONG W, AN GJ. Effects of ultrafiltration on the contents of aromatic compositions in hwan kumbea wine [J]. *Food Mach*, 2007, (5): 34–36.
- [34] 曹有芳, 刘丹, 徐俊南, 等. 基于电子鼻和气相色谱-质谱联用技术分析不同品种苹果酒香气物质[J]. 中国酿造, 2020, 39(2): 182–188.
CAO YF, LIU D, XU JN, *et al.* Analysis of aroma substances in apple wines brewed with different varieties of apple by electronic nose combined with GC-MS [J]. *Chin Brew*, 2020, 39(2): 182–188.
- [35] 金宇宇, 舒楠, 谢苏燕, 等. 延迟采收对北冰红葡萄及蒸馏酒中挥发性成分的影响[J]. 中国酿造, 2020, 39(12): 140–145.
JIN YN, SHU N, XIE SY, *et al.* Effect of delayed harvest on volatile components in Beibinghong grape and distilled wine [J]. *Chin Brew*, 2020, 39(12): 140–145.
- [36] 刘宝祥, 苏政波, 马闯, 等. 基于 HS-GC-IMS 分析樱桃酒中的挥发性风味物质[J]. 中国酿造, 2021, 40(9): 186–190.
LIU BX, SU ZB, MA C, *et al.* Analysis of the volatile flavor compounds in cherry wine by HS-GC-IMS [J]. *Chin Brew*, 2021, 40(9): 186–190.
- [37] 张宝香, 舒楠, 金宇宇, 等. 不同果胶酶处理北冰红葡萄汁酿制北冰红冰酒香气成分分析[J]. 酿酒科技, 2020, (12): 38–43.
ZHANG BX, SHU N, JIN YN, *et al.* Analysis of aroma components of ice wine brewed from beibinghong grape juice treated with different pectinases [J]. *Liquor-Making Sci Technol*, 2020, (12): 38–43.
- [38] 冒德寿, 牛云蔚, 姚征民, 等. 顶空固相微萃取-气相色谱质谱联用和气相色谱嗅闻技术鉴定清香型白酒特征香气物质[J]. 中国食品学报, 2019, 19(7): 251–261.
MAO DS, NIU YW, YAO ZM, *et al.* Characterization of the key aroma compounds in chinese light aroma-type liquors by headspace solid-phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry, gas chromatography-olfactometry [J]. *J Chin Ins Food Sci Technol*, 2019, 19(7): 251–261.
- [39] LIU W, LI H, JIANG D, *et al.* Effect of *Saccharomyces cerevisiae*, *Torulaspora delbrueckii* and malolactic fermentation on fermentation kinetics and sensory property of black raspberry wines [J]. *Food Microbiol*, 2020, 91: 103551.
- [40] KOSTYRA E, KRÓL K, KNYSAK D, *et al.* Characteristics of volatile compounds and sensory properties of mixed organic juices based on kiwiberry fruits [J]. *Appl Sci*, 2021, 11(2): 529.
- [41] 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 HM, *et al.* Screening of *Saccharomyces cerevisiae* for the fermentation of cherry fruit wine and its aroma components analysis [J]. *Food Ferment Ind*, 2020, 46(3): 124–130.
- [42] 何英霞, 蒋玉梅, 李霁昕, 等. 不同酶和酵母对干红葡萄酒香气影响的差异分析[J]. 农业工程学报, 2016, 32(S1): 325–332.
HE YX, JIANG YM, LI JX, *et al.* Effect of different yeasts and maceration enzymes on aromatic components of cabernet gersicht red wine [J]. *Trans Chin Soc Agric Eng*, 2016, 32(S1): 325–332.
- [43] 颜子豪, 孟庆芳, 陈江魁, 等. 冰糖红梨酒发酵工艺优化及香气成分分析[J]. 食品工业科技, 2022, 43(6): 228–235.
YAN ZH, MENG QF, CHEN JK, *et al.* Fermentation process optimization and aroma components analysis of red pear wine with candy sugar [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2022, 43(6): 228–235.
- [44] 范文来, 徐岩. 白酒风味物质研究方法的回顾与展望[J]. 食品安全质量检测学报, 2014, 5(10): 3073–3078.
FAN WL, XU Y. Current practice and future trends of aroma and flavor of Chinese liquor (Baijiu) [J]. *J Food Saf Qual*, 2014, 5(10): 3073–3078.
- [45] 王家利, 辛秀兰, 陈亮, 等. 气相色谱-质谱法分析比较不同酵母发酵红树莓果酒的香气成分[J]. 食品科学, 2014, 35(6): 107–112.
WANG JL, XIN XL, CHEN L, *et al.* Comparative analysis by gas chromatography-mass spectrometry of aromatic composition of red raspberry wines fermented by different yeast starter [J]. *Food Sci*, 2014, 35(6): 107–112.
- [46] 张志兵, 连琛, 詹瑞玲, 等. 气相色谱-质谱联用法分析不同品种苹果酿造蒸馏酒中香气成分及特征[J]. 中国酿造, 2021, 40(9): 191–195.
ZHANG ZB, LIAN C, ZHAN RL, *et al.* Analysis of aroma components and characteristics in apple distillations brewed with different varieties of apple by GC-MS [J]. *Chin Brew*, 2021, 40(9): 191–195.
- [47] 李莉峰, 叶春苗, 韩艳秋. 不同澄清剂对南果梨酒澄清效果的影响[J]. 食品工业, 2017, 38(5): 129–132.
LI LF, YE CM, HAN YQ. Effects of different clarifiers on clarification of Nanguo pear wine [J]. *Food Ind*, 2017, 38(5): 129–132.
- [48] 邓星星, 肖志欣, 江英. 不同澄清剂对库尔勒香梨果酒品质的影响[J]. 食品工业, 2021, 42(10): 184–189.
DENG XX, XIAO ZX, JIANG Y. Effect of different kinds of clarifying agents on the quality characteristics of Korla fragrant pear wine [J]. *Food Ind*, 2021, 42(10): 184–189.

(责任编辑: 郑丽于梦娇)

作者简介



牛佳佳, 博士, 副研究员, 主要研究方向为果品保鲜加工。
E-mail: 50817645@qq.com



张四普, 博士, 副研究员, 主要研究方向为果品保鲜加工。
E-mail: spz3554101@126.com