

尹蓉, 张倩茹, 王俊宇, 等. 13 个品种红枣发酵酒的品质差异分析 [J]. 食品工业科技, 2023, 44(5): 277–284. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022040306

YIN Rong, ZHANG Qianru, WANG Junyu, et al. Quality Difference Analysis of Jujube Wine of 13 Varieties[J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(5): 277–284. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022040306

· 分析检测 ·

13 个品种红枣发酵酒的品质差异分析

尹 蓉, 张倩茹, 王俊宇, 梁志宏*
(山西农业大学果树研究所, 山西太原 030031)

摘 要:为研究不同红枣品种发酵酒的品质差异, 收集市场常见的 13 个品种进行发酵, 测定枣酒基础理化指标, 并采用离子色谱法和顶空固相微萃取-气相色谱-质谱联用技术分别测定有机酸和香气成分, 结合感官评价进行分析。结果表明不同品种枣酒均含有较高水平的干浸出物、 V_C 和甘油, 柠檬酸、琥珀酸、乳酸、乙酸和奎宁酸是普遍含有的有机酸, 而酯类是主要香气构成成分; 不同品种枣酒品质存在明显差异, 阜平大枣酒、圆铃枣酒、哈密大枣酒的有机酸具有优势, 灵武长枣酒、鸡心枣酒、灵宝枣酒的香气成分种类具有优势, 而狗头枣酒具有较优的基础理化指标, 经品评后得出最佳酿酒品种为灵武长枣、狗头枣和鸡心枣, 表明该 3 个品种发酵酒的风味物质平衡性最好, 经分析可得其酒体共同特点是糖酸比小于且最接近 1, 均含有 6 种有机酸, 特有香气物质种类较多, 且各自包含 1 种优势有机酸和 2 种以上可贡献良好风味属性的优势香气组分。

关键词:品种, 枣酒, 品质, 有机酸, 香气成分

中图分类号: TS255.53

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2023)05-0277-08

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2022040306

本文网刊:



Quality Difference Analysis of Jujube Wine of 13 Varieties

YIN Rong, ZHANG Qianru, WANG Junyu, LIANG Zhihong*

(Pomology Institute, Shanxi Agricultural University, Taiyuan 030031, China)

Abstract: In order to study quality difference of jujube wine of different jujube varieties, 13 common varieties in the market were collected for fermentation. Basic physical and chemical indexes of the wine were determined, and organic acid and aroma components were also determined by ion chromatography and headspace solid phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry method respectively, and were then analysed combining with sensory evaluation. It was showed that contents of dry extract, V_C and glycerol were all high, citric acid, succinic acid, lactic acid, acetic acid and quinic acid were the common organic acids, and esters were the main aroma components in different jujube wines. Different jujube wine had different quality characteristics. Fuping jujube wine, Yuanling jujube wine and Hami jujube wine had advantage in organic acid, Lingwu long jujube wine, Jixin jujube wine and Lingbao jujube wine had advantage in aroma components, and Goutou jujube wine had better basic physical and chemical indexes. Whereas, Lingwu long jujube, Jixin jujube and Goutou jujube were identified as the best jujube varieties for brewing by sensory evaluation, which indicated their wines had the best balance of flavor substances, and through analysis the common characteristics including sugar-acid ratio less than and mostly closing to 1, 6 kinds of different organic acid, more kinds of characteristic aroma substances, one dominant organic acid and more than two dominant aroma components which could contribute favourable flavor properties contained.

Key words: varieties; jujube wine; quality; organic acid; aroma compounds

红枣产业是中国特色的果品大产业, 在脱贫攻坚中发挥着重要作用。枣品种资源是枣产业的重要内容, 当下具有代表性且能满足市场优质化需求的品

种有‘临猗梨枣’、‘冬枣’、‘壶瓶枣’、‘骏枣’和‘灰枣’等, 区域性应用的新品种主要有‘灵武长枣’、‘七月鲜’、‘马牙白’、‘山东梨枣’等^[1]。许多优异的特色品

收稿日期: 2022-04-27

基金项目: 山西省重点研发计划项目 (201903D221054)。

作者简介: 尹蓉 (1984-), 女, 硕士, 助理研究员, 研究方向: 果品加工与质量检测, E-mail: zhulaidong@163.com。

* 通信作者: 梁志宏 (1969-), 女, 硕士, 研究员, 研究方向: 果蔬采后生理及贮藏保鲜研究工作, E-mail: 511216334@qq.com。

种也在发掘和引种中^[2-4]。

枣酒酿制在中国已有上千年历史,但持续性的专业研究较少^[5-7]。酿酒原材料的选择直接决定枣酒的品质。红枣拥有众多的品种,不同产地和品种的枣果营养和功能性成分含量差异大^[8-10],酿制的枣酒品质也必然具有较大差异。侯丽娟等^[11]测定沧州金丝小枣、阜平大枣、赞皇大枣、枣强大枣四个品种的糖、有机酸及氨基酸含量,并经发酵酿酒后检测酒中香气成分,发现阜平大枣糖、有机酸及氨基酸含量均较高,酿制的枣酒鉴定出的风味物质种类最多,风味质量最为突出。马腾臻等^[12]以临泽小枣、小口枣和民勤圆枣 3 个红枣品种为原料酿酒,结果表明临泽小枣酒的总酸含量和色度值最高且差异显著,具有较好的色泽和典型性,小口枣酒的酯类、醇类和萜烯类香气物质含量显著较高且香气最为浓郁优雅,二者可用于甘肃特色枣酒的生产。而 Lee 等^[13]利用南韩境内 2 个最常栽培的枣品种发酵枣酒,经分析得出干枣、鲜枣酒的品质差异高于原料品种的差异,干枣比鲜枣更适宜酿酒。

目前的枣酒生产多是就地取材,不甄别原料的适用性,酿出的枣酒风味淡、结构感差,无法达到高端型品质。对于枣酒适酿品种的研究也较少,且缺乏系统性评价。因此,红枣酿酒品种的筛选具有重要价值,可决定中高端枣酒的生产方向。本研究收集市场上常见的 13 种优质红枣品种的干制果作为原料进行发酵,测定品质指标并进行专业品评,综合分析不同品种红枣的适酿性,较以往的研究而言,品种多且收集范围广、数据依托样本较大,可为各地枣酒适酿品种的选择提供数据依据和理论基础。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

红枣 干枣,全部采收于 2020 年,品种信息见表 1;拉曼德优质果酒酵母干粉 曼森酵母旗舰店;有机酸标准品(草酸、奎宁酸、酒石酸、琥珀酸、柠檬酸、乳酸、苹果酸、乙酸标准品) 上海源叶生物有限公司;乙腈(色谱纯)、无水醋酸钠(默克优级纯)、氢氧化钠(默克优级纯) 默克化学试剂有限公司;屈臣氏纯净水 屈臣氏集团有限公司;果糖、葡萄糖 陕西润丰生物技术有限公司;浓硫酸、甘油(分析纯)、氯化锂(分析纯) 深圳市勋业化学试剂有限公司。

Atago pal-1 糖度计 南京昕仪生物科技有限公司;930 Compact IC Flex 智能集成型离子色谱仪 瑞士万通有限公司;C18SPE 固相萃取小柱(十八烷基硅胶填充物 500 mg) 北京吉瑞森科技有限责任公司;

公司;Thermo Trace1300ISQ 气相色谱-质谱联用仪 赛默飞世尔科技(中国)有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 总发酵工艺流程 参见张倩茹等^[14]的方法。干红枣→清洗→切割(每颗枣切割三刀)→加热提汁(加入纯净水煮至即将沸腾,常温静置提汁 24 h)→过滤(300 目筛网)→调糖度(加热浓缩至糖度为 20°Brix)→菌种活化及接种(以 0.4 g/L 的浓度称取活性干酵母,加入适量浓度为 2% 的葡萄糖溶液,置于 37 ℃ 水浴锅中连续搅拌 15 min,而后加入枣汁中混合均匀)→发酵(20 ℃ 密闭发酵 20 d)→澄清。

1.2.2 基础理化指标及有机酸测定 酒精度、总酸、总糖、干浸出物、V_C 含量测定参见国标《GB 15037-2006 葡萄酒》^[15]。甘油和有机酸含量测定均采用离子色谱法,分别参见张倩茹等^[14, 16]的方法,其中,甘油测定参数为 Hamilton RCX-30-250/4.6 糖及氨基酸分析柱、抑制电流 50 mA、流速 1.0 mL/min、柱温 30 ℃、1.5 μL 定量环;有机酸测定参数为 Metrosep Organic Acids-250/7.8 有机酸柱和电导检测器,抑制电流 50 mA、流速 0.5 mL/min、柱温 25 ℃、进样量 20 μL。配制不同浓度的甘油和有机酸标准品溶液,绘制标准曲线(见表 2)。将枣酒样品经 C₁₈SPE 固相萃取小柱处理,用 0.45 μm 针头过滤器过滤,并稀释 10 倍进行测定。

表 2 甘油及各有机酸标准曲线方程

Table 2 Standard curve equation of glycerin and organic acid

物质种类	出峰时间(min)	回归方程	R ²
甘油	3.56	y=8.5825x-10.914	0.9969
草酸	7.20	y=0.5442x+4.911	0.9997
柠檬酸	8.06	y=0.4283x+0.243	0.9979
酒石酸	8.64	y=0.3936x+0.0769	0.9999
苹果酸	9.26	y=0.4095x+0.2334	0.999
奎宁酸	9.67	y=0.0978x+0.0165	0.9991
琥珀酸	10.67	y=0.4546x+0.1847	0.9995
乳酸	11.58	y=0.2604x+0.0313	0.9999
乙酸	13.56	y=0.4219x+0.0275	0.9990

1.2.3 香气成分提取及测定 香气成分提取采用顶空固相微萃取方法^[12, 17]。取 10 mL 酒样置于 20 mL 顶空进样瓶中,加盖密封,将萃取头插入顶空瓶中,距样品液面约 5 mm,保温 10 min,在 40 ℃ 萃取 40 min,立即将萃取头插入 GC 进样口脱附 3 min。

香气成分测定采用气质联用法^[18]。GC-MS 检测条件色谱条件: DA-5MS 色谱柱(30 m×25 mm, 0.25 μm);进样口温度 230 ℃,柱温起始温度 35 ℃,

表 1 红枣原料品种信息

Table 1 Jujube materials of variety information

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
品种	平顶枣	稷山板枣	石门大枣	三星枣	马牙枣	狗头枣	鸡心枣	阜平大枣	哈密大枣	七月鲜	圆铃枣	灵宝枣	灵武长枣
产地	辽宁	山西	甘肃	辽宁	新疆	陕西	河北	河北	新疆	杨凌	山东	河南	宁夏

保持 2 min, 以 5 ℃/min 升至 60 ℃, 再以 4 ℃/min 升至 160 ℃, 再以 10 ℃/min 升至 230 ℃, 保持 10 min, 载气 He, 柱流量 2.4 mL/min, 不分流进样。质谱条件: 电离方式 EI, 电子能量 70 eV, 离子源温度 200 ℃, 接口温度 230 ℃, 质量扫描范围: 45~600 aum。

香气成分的定性定量分析: 将检测得到的质谱数据与 NIST 05 质谱库进行对比解析, 先保留 Qual ≥ 70 的鉴定结果, 再结合文献参考进行添加和删除, 最终确定各香气成分; 采用峰面积归一化法计算各组成成分相对含量。

1.2.4 感官评价 参考国标《GB/T 15038-2006 葡萄酒、果酒通用分析方法》^[19] 及马腾臻等^[12]、Reddy 等^[20] 的文献, 制定感官打分标准(表 3)。将不同品种

表 3 枣酒感官评分标准

Table 3 Sensory evaluation criteria for jujube wine		
品评项目	依据	得分范围(分)
色泽(20)	澄清、透明, 具有枣酒应有的红棕色或暗红色	15~20
	较澄清、透明, 具有枣酒应有的红棕色或暗红色	8~14
	色泽不均一, 不透亮	<8
口感(30)	口感协调、细腻, 酸甜适中, 口味纯正, 具有枣酒应有的风味	24~30
	口感较协调、较细腻, 酒体醇和, 具有枣酒应有的风味	17~23
	酒体酸涩, 口感粗糙、平淡, 或有异味	<17
香气(25)	枣酒香气纯正, 发酵香和谐	20~25
	酒香良好, 发酵香较和谐	14~19
	香气不良, 使人厌恶	<14
喜好(25)	品评者最喜欢	20~25
	品评者较喜欢	14~19
	品评者不喜欢	<14

表 4 不同品种红枣发酵酒理化品质指标

Table 4 Physical and chemical quality indexes of jujube wine of different varieties								
序号	品种	酒精度(%vol)	总酸(g/L)	总糖(g/L)	糖酸比	干浸出物(g/L)	V _C (mg/L)	甘油(g/L)
1	平顶枣	12.10±0.22 ^a	7.63±0.10 ^f	9.71±0.16 ^c	1.27±0.00 ^c	30.35±0.32 ^l	13.21±0.40 ^f	11.29±0.56 ^a
2	稷山板枣	10.00±0.00 ^{cd}	7.27±0.22 ^{fg}	5.48±0.09 ^h	0.76±0.03 ^h	44.25±0.25 ^e	15.34±0.28 ^e	9.09±0.52 ^c
3	石门大枣	10.43±0.09 ^{bc}	7.42±0.08 ^{fg}	10.63±0.12 ^b	1.43±0.00 ^b	35.55±0.17 ^j	9.79±0.09 ^{ij}	8.41±0.36 ^{cd}
4	三星枣	8.93±0.21 ^e	8.95±0.28 ^d	9.83±0.26 ^c	1.10±0.06 ^c	51.70±0.18 ^b	13.33±0.18 ^f	11.23±0.29 ^{bc}
5	马牙枣	10.70±0.29 ^b	8.70±0.17 ^{de}	9.24±0.32 ^d	1.06±0.05 ^c	47.45±0.26 ^c	21.06±0.23 ^b	7.95±0.45 ^d
6	狗头枣	10.97±0.31 ^b	8.40±0.22 ^{de}	7.71±0.13 ^f	0.92±0.04 ^{fg}	47.50±0.33 ^c	19.25±0.32 ^c	11.28±0.62 ^a
7	鸡心枣	11.87±0.38 ^a	6.87±0.09 ^g	6.57±0.26 ^g	0.96±0.01 ^f	45.85±0.24 ^d	14.82±0.18 ^e	10.34±0.55 ^{ab}
8	阜平大枣	9.10±0.22 ^c	9.63±0.11 ^c	5.38±0.06 ^h	0.56±0.01 ⁱ	36.95±0.26 ⁱ	10.35±0.16 ^{hi}	8.70±0.09 ^{cd}
9	哈密大枣	10.50±0.22 ^{bc}	8.25±0.11 ^c	9.87±0.15 ^c	1.20±0.03 ^d	39.85±0.31 ^g	16.15±0.22 ^d	6.39±0.16 ^c
10	七月鲜	9.80±0.08 ^d	7.68±0.24 ^f	13.01±0.24 ^a	1.69±0.03 ^a	31.10±0.16 ^k	9.26±0.25 ^j	11.40±0.24 ^a
11	圆铃枣	10.00±0.00 ^{cd}	12.87±0.48 ^a	8.03±0.18 ^{ef}	0.62±0.03 ⁱ	42.25±0.28 ^f	10.87±0.29 ^h	10.12±0.26 ^b
12	灵宝枣	8.00±0.00 ^f	10.32±0.37 ^b	7.60±0.26 ^f	0.74±0.01 ^h	62.90±0.35 ^a	22.87±0.38 ^a	5.53±0.08 ^f
13	灵武长枣	8.20±0.08 ^f	9.47±0.29 ^c	8.36±0.18 ^e	0.88±0.01 ^g	38.00±0.30 ^h	11.80±0.36 ^g	8.88±0.15 ^{cd}
	平均值	9.97	8.73	8.57	1.01	41.82	14.47	9.15
	标准偏差	1.23	1.61	2.14	0.33	8.86	4.37	1.81
	变异系数	12.36%	18.36%	24.92%	32.35%	21.19%	30.23%	19.83%

注: 同列不同字母表示差异显著($P<0.05$); 表5同。

枣酒样品放置在室温 20 ℃ 下, 邀请 10 名专业品酒人员进行品评打分。

1.3 数据处理

实验进行 3 组平行, 测定结果以平均值±标准差表示。采用 Excel 和 SPSS 22.0 软件进行数据处理和分析。分析方法为单因素方差分析 (ANOVA) 法, $P<0.05$ 为差异显著。

2 结果与分析

2.1 不同品种红枣发酵酒基础理化指标分析

初始糖度 20°Brix、20 ℃ 全封闭发酵完成后, 13 个品种红枣发酵酒理化品质指标测定结果见表 4。结果显示, 各品种发酵酒酒精度在 8.0%vol~12.1%vol 范围内, 平顶枣、鸡心枣发酵酒可达到较高的酒精度, 灵宝枣、灵武长枣则为最低; 总酸、总糖、糖酸比的范围分别是 6.87~12.87 g/L、5.38~13.01 g/L、0.56~1.69, 基本可归于半干红果酒(参考《GB/T 15037-2006 葡萄酒》对半干红酒含糖量为 4~12 g/L 的定义)^[15], 糖酸含量范围也与前人的研究结果一致^[11, 21]; 干浸出物的范围 30.35~62.90 g/L, 全都高于国标规定的 18.0 g/L 的最低标准^[15], 灵宝枣、三星枣为最高, 平顶枣、七月鲜为最低; V_C 和甘油含量的范围分别是 9.26~22.87 mg/L、5.53~11.40 g/L, 灵宝枣发酵酒 V_C 含量最高但甘油含量最低, 七月鲜发酵枣酒则甘油含量最高而 V_C 含量最低, 狗头枣发酵酒属于 V_C 和甘油含量都较高的枣酒。

七项理化指标变异系数均在 10% 以上, 糖酸比和 V_C 含量变异系数最高, 酒精度变异系数最低。说明原料品种可明显影响枣酒的理化指标。而酒精度、糖酸比、干浸出物和甘油含量的不同与枣酒口感的平衡性、丰度和醇厚感密切相关^[5]。

2.2 不同品种红枣发酵酒有机酸组成及含量分析

由表 5 所示, 13 个红枣品种发酵酒中共检测到草酸、柠檬酸、酒石酸、苹果酸、奎宁酸、琥珀酸、乳酸和乙酸 8 种有机酸。柠檬酸、琥珀酸、乳酸和乙酸在 13 个品种枣酒中均全部检测到, 含量范围分别是 0.47~1.85、0.39~1.30、0.25~9.83、0.91~2.05 g/L; 奎宁酸仅在石门大枣和灵武长枣枣酒中未检测到, 在其余品种枣酒中含量范围是 0.29~3.84 g/L; 酒石酸在阜平大枣、哈密大枣等 7 个枣品种发酵酒中检测到, 含量最高仅为 0.71 g/L; 苹果酸存在于阜平大枣、圆铃枣等 5 个枣品种发酵酒中, 含量范围在 0.36~2.08 g/L 之间; 草酸存在于阜平大枣、狗头枣和七月鲜三种枣酒中, 含量都较低。

不同的有机酸味道不同。苹果酸酸味味感最强, 带生青味和苦涩味, 口感尖刻且呈味时间长; 柠檬酸味感新鲜、凉爽和圆润, 且后苦时间短; 酒石酸口感粗糙、生硬; 琥珀酸在刚入口时酸味淡, 随后味感变浓, 呈现先咸后苦的特征, 并能引起唾液分泌, 可使枣酒滋味浓厚, 增强其醇厚感; 乳酸酸性较弱, 略带乳香和涩感; 乙酸具有醋味; 草酸和奎宁酸都具有涩味^[22-24]。各有机酸对枣酒酸味的贡献不同, 而不同品种红枣发酵酒有机酸组成和含量不同, 在酒体口感特征和饮后舒适度会体现出差异性。例如, 阜平大枣酒含有全部 8 种有机酸, 而圆铃枣酒和哈密大枣酒各含有 7 种, 且大部分有机酸含量都较高, 此 3 种发酵酒酸味会比较强且后味足; 灵武长枣酒含有最高水平的苹果酸, 乳酸和乙酸含量却最低, 其酸味口感会表现得较为尖锐; 而狗头枣酒柠檬酸含量高, 其酸味口感则会比较清新。

2.3 不同品种红枣发酵酒香气成分分析

由表 6 所示, 13 个红枣品种发酵酒中共检测到 58 种香气物质。酯类物质共有 25 种, 是最主要的香气构成成分, 这与前人的研究结果一致^[9, 21]。另有 7 种醇类物质、7 种酮类物质、4 种酸类物质、3 种醛

类物质、2 种呋喃类物质、1 种酚类物质和 9 种烷类物质。这些成分可通过相互累积、协同、抑制和掩蔽等作用, 使果酒的香气复杂多变^[25]。乙酸异戊酯、己酸乙酯、苯丙酸乙酯、癸酸乙酯、异戊醇、十甲基环五硅氧烷、十二甲基环六硅氧烷、十四甲基环七硅氧烷共 8 种香气成分是 13 个品种枣酒中共同含有的香气成分。其中癸酸乙酯、己酸乙酯、异戊醇、苯乙醇、十甲基环五硅氧烷相对含量普遍较高, 癸酸乙酯可赋予枣酒果香和白兰地香, 己酸乙酯赋予枣酒曲香和菠萝香, 异戊醇是高级醇的一种, 一般认为是酒中主要的助香成分, 赋予酒体苦杏仁香和传统风味, 苯乙醇赋予枣酒栀子、紫丁香样香^[26-28]。庚酸乙酯、壬酸乙酯、辛酸异戊酯、丙酸乙酯、丁酸乙酯、戊酸乙酯、乙酸己基酯、十二酸乙酯、大马士酮、1,3-二乙氧基-1,1,3,3-四甲基二硅氧烷、八甲基环四硅氧烷、六甲基环三硅氧烷在 10 个品种以上的枣酒中检测到, 说明这 12 种物质也是各品种枣酒中普遍含有的香气物质。

不同品种红枣发酵酒香气成分组成和含量存在明显差异。灵武长枣酒总香气成分种类和酮类香气成分种类均居于首位, 酯类和酮类香气成分的相对含量明显超过其他品种的发酵酒, 而烷类物质相对含量为最低; 鸡心枣酒总香气成分种类仅次于灵武长枣酒, 且酯类香气成分种类最多; 灵宝枣酒香气成分种类居于第三, 但涵盖了酯类、醇类、酮类、酸类、醛类、烷类、呋喃类及酚类所有类别, 且醛类香气物质相对含量最高。这 3 种枣酒香气成分的多样性可能在风味表现上具有一定优势。稷山板枣酒醇类香气成分相对含量明显超过酯类成分, 且在所有品种枣酒中为最高, 风味可能偏向于醇香型。三星枣酒酸类成分相对含量超过其他所有枣酒, 而酯类和醇类成分却最低, 可能风味偏酸, 口感平衡性较差。

一些香气成分仅在 1~2 个枣品种发酵酒中检测到, 可认为是这些枣酒的特有香气成分。狗头枣酒的

表 5 不同品种红枣发酵酒有机酸组成及含量分析(g/L)

Table 5 Composition analysis and content of organic acids in jujube wine of different varieties (g/L)

序号	品种	草酸	柠檬酸	酒石酸	苹果酸	奎宁酸	琥珀酸	乳酸	乙酸
1	平顶枣	—	0.84±0.06 ^c	0.04±0.00 ^d	—	0.54±0.03 ^c	0.39±0.01 ^d	2.94±0.08 ^d	1.59±0.17 ^{bc}
2	稷山板枣	—	0.48±0.06 ^f	—	—	0.45±0.04 ^{cd}	0.47±0.05 ^{cd}	1.56±0.12 ^{fg}	1.53±0.08 ^{bc}
3	石门大枣	—	1.21±0.07 ^d	0.10±0.01 ^c	1.32±0.00 ^b	—	0.48±0.03 ^{cd}	0.36±0.01 ^h	1.21±0.05 ^{cbed}
4	三星枣	—	0.92±0.04 ^e	—	—	0.39±0.02 ^{cd}	0.39±0.02 ^d	2.72±0.13 ^{de}	1.35±0.08 ^{bcd}
5	马牙枣	—	1.17±0.07 ^d	—	—	0.39±0.02 ^{cd}	0.47±0.04 ^{cd}	2.32±0.13 ^{def}	1.47±0.16 ^{bc}
6	狗头枣	0.44±0.02 ^b	1.64±0.07 ^{bc}	—	—	0.46±0.04 ^{cd}	0.46±0.03 ^{cd}	2.28±0.25 ^{def}	1.51±0.21 ^{bc}
7	鸡心枣	—	0.53±0.04 ^f	0.01±0.00 ^d	—	0.59±0.02 ^c	0.47±0.02 ^{cd}	1.80±0.18 ^{fg}	2.05±0.24 ^a
8	阜平大枣	0.55±0.02 ^a	1.85±0.02 ^a	0.71±0.03 ^a	0.40±0.03 ^c	3.84±0.03 ^a	1.30±0.04 ^a	5.22±0.32 ^c	1.68±0.16 ^b
9	哈密大枣	—	1.75±0.10 ^{ab}	0.64±0.02 ^b	0.36±0.03 ^c	3.42±0.06 ^b	1.17±0.04 ^b	6.87±0.15 ^b	1.46±0.23 ^{bc}
10	七月鲜	0.02±0.00 ^e	0.47±0.05 ^f	—	—	0.43±0.02 ^{cd}	0.55±0.03 ^c	2.04±0.20 ^{efg}	1.08±0.13 ^{cd}
11	圆铃枣	—	1.50±0.10 ^c	0.63±0.03 ^b	0.41±0.02 ^c	3.38±0.19 ^b	1.26±0.04 ^a	9.83±0.86 ^a	1.49±0.17 ^{bc}
12	灵宝枣	—	0.89±0.03 ^e	—	—	0.29±0.03 ^d	0.46±0.02 ^{cd}	1.27±0.20 ^g	1.33±0.11 ^{bcd}
13	灵武长枣	—	0.79±0.03 ^e	0.08±0.00 ^c	2.08±0.12 ^a	—	0.48±0.02 ^{cd}	0.25±0.04 ^h	0.91±0.88 ^d

表 6 不同品种红枣发酵枣酒香气成分组成及相对含量(%)
Table 6 Aroma composition and relative content in fermented jujube wine of different varieties (%)

香气物质		相对含量												
		平顶枣	稷山板枣	石门大枣	三星枣	马牙枣	狗头枣	鸡心枣	阜平大枣	哈密大枣	七月鲜	圆铃枣	灵宝枣	灵武长枣
酯类	乙酸乙酯	1.20	—	—	—	—	0.08	—	—	—	—	—	2.16	—
	丙酸乙酯	0.06	—	0.06	—	0.12	—	0.08	0.10	0.06	0.12	0.18	0.28	0.06
	甲酸异戊酯	—	0.06	—	—	0.06	0.22	—	—	—	0.04	—	—	—
	丁酸乙酯	0.18	0.10	—	0.34	0.26	2.30	0.16	0.20	—	0.36	—	0.42	0.42
	乙酸异戊酯	3.74	1.82	3.24	5.42	2.44	0.08	1.92	1.42	0.32	3.26	0.78	6.28	14.38
	戊酸乙酯	0.16	—	0.30	0.18	0.10	3.20	0.14	0.16	0.08	0.14	—	—	0.28
	己酸乙酯	9.96	3.20	7.18	15.12	4.56	0.38	8.16	3.86	2.56	3.04	3.22	12.50	13.74
	乙酸己基酯	0.24	0.28	0.46	0.50	0.48	—	0.20	0.38	0.22	0.40	0.32	—	0.32
	己-2-烯酸乙酯	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.26
	异丁酸异戊酯	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2.38	—
	6-庚酸乙酯	—	—	—	—	—	0.48	0.04	—	—	—	—	—	—
	庚酸乙酯	2.08	0.08	1.88	2.54	1.02	—	1.54	1.18	0.62	1.12	0.34	0.64	3.96
	反式-2-庚酸乙酯	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.10	—	—
	8-壬酸乙酯	—	—	—	—	—	0.04	—	—	—	—	—	—	0.04
	辛酸丙酯	0.10	0.04	0.04	—	—	0.50	0.12	—	—	—	0.02	—	—
	壬酸乙酯	0.52	0.44	0.68	0.98	0.86	—	0.82	0.46	0.50	1.14	0.88	0.46	1.10
	癸酸甲酯	—	—	—	—	—	2.32	0.06	—	—	—	—	0.08	—
	苯丙酸乙酯	0.50	0.40	1.08	0.28	0.90	28.16	3.34	2.02	2.18	0.16	2.08	0.48	0.66
	癸酸乙酯	18.24	22.30	30.86	2.68	18.14	0.16	42.58	21.16	22.98	22.40	39.30	27.76	42.88
	辛酸异戊酯	0.20	0.24	0.24	0.04	0.18	—	0.38	0.18	0.08	0.26	0.34	0.26	0.38
	癸酸丙酯	—	—	—	—	—	—	0.06	—	—	—	—	—	0.04
	十一酸乙酯	—	—	—	—	—	—	0.04	—	—	—	—	—	0.04
	癸酸异丁酯	—	—	—	—	—	1.64	—	0.02	—	—	—	—	—
	十二酸乙酯	0.30	0.22	0.82	0.22	0.24	0.02	9.00	—	1.54	0.74	4.26	1.50	1.72
	癸酸异戊酯	—	0.02	0.04	—	—	0.12	0.10	0.06	—	0.02	0.08	0.04	0.08
小计	种类	14	13	13	11	13	14	18	13	11	14	13	14	17
	相对含量	37.48	29.20	46.88	28.30	29.36	39.58	68.74	31.20	31.14	33.20	51.90	55.24	80.36
醇类	异戊醇	0.06	17.78	12.90	4.26	20.26	25.82	9.46	17.52	21.46	15.30	12.88	13.56	5.58
	1-戊醇	23.38	—	—	—	—	—	—	—	0.08	0.02	—	—	—
	2,3-丁二醇	—	20.74	9.28	—	3.24	0.20	—	9.88	2.64	2.14	1.88	—	—
	2-乙基己醇	—	0.20	—	0.58	0.28	—	—	0.18	0.30	0.22	0.30	—	—
	苯甲醇	—	—	—	—	—	—	1.32	—	—	—	—	1.04	—
	2-壬醇	—	—	—	—	—	3.06	—	—	—	—	—	1.16	0.16
	苯乙醇	4.30	5.14	3.90	2.38	4.50	—	4.16	6.20	3.40	4.56	3.64	4.60	1.80
小计	种类	3	4	3	3	4	4	3	4	5	5	4	4	3
	相对含量	27.74	43.86	26.08	7.22	28.28	29.20	14.94	33.78	27.88	22.24	18.70	20.36	7.54
酸类	2-(氨基氧基)乙酸	—	3.72	1.92	7.48	—	—	0.18	—	0.04	0.02	1.36	0.26	0.20
	正己酸	—	—	0.02	—	—	1.88	—	—	—	—	—	—	—
	正戊酸	—	—	—	—	2.34	—	—	1.48	0.50	0.74	0.82	—	0.62
	DL-2-氨基丙酸	—	—	—	—	—	—	—	—	0.04	—	—	—	—
小计	种类	—	1	2	1	1	1	1	1	3	2	2	1	2
	相对含量	—	3.72	1.94	7.48	2.34	1.88	0.18	1.48	0.58	0.76	2.18	0.26	0.82
酮类	3-羟基-2-丁酮	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.14	—
	羟基丁酮	—	—	—	0.32	0.04	—	—	—	—	—	—	—	—
	4-壬酮	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.02
	2-壬酮	0.20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.20	0.60
	4-十一烷酮	—	—	—	—	—	0.10	—	—	—	—	—	—	0.14
	大马士酮	0.20	0.18	0.20	0.04	—	—	0.18	0.14	0.12	0.24	0.20	0.22	0.38
	4-十三烷酮	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.02
小计	种类	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	5
	相对含量	0.40	0.18	0.20	0.36	0.04	0.10	0.18	0.14	0.12	0.24	0.20	0.56	1.16

续表 6

香气物质		相对含量												
		平頂枣	稷山板枣	石門大枣	三星枣	马牙枣	狗头枣	鸡心枣	阜平大枣	哈密大枣	七月鲜	圆铃枣	灵宝枣	灵武长枣
醛类	3-羟基丁醛	—	—	—	—	—	0.10	—	—	—	—	—	18.04	—
	苯甲醛	—	—	—	—	—	—	0.10	—	—	—	—	—	—
	苯乙醛	—	0.42	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
小计	种类	—	1	—	—	—	1	1	—	—	—	—	1	—
	相对含量	—	0.42	—	—	—	0.10	0.10	—	—	—	—	18.04	—
烷类	1,1-二乙氧基乙烷	—	0.92	—	—	—	0.06	—	—	—	—	—	—	—
	1,3-二乙氧基-1,1,3,3-四甲基二硅氧烷	0.10	0.06	0.08	0.04	0.04	0.82	0.06	0.04	0.06	0.08	0.04	—	0.02
	八甲基环四硅氧烷	0.86	0.80	1.20	1.88	0.86	—	1.06	0.72	1.72	1.44	1.08	0.64	0.22
	1-(1-乙氧基乙氧基)戊烷	0.24	—	0.06	0.68	0.04	0.26	—	—	—	—	0.04	—	—
	六甲基环三硅氧烷	0.64	0.62	0.42	1.00	0.48	5.02	0.20	0.38	0.28	—	0.24	0.20	0.20
	十甲基环五硅氧烷	5.34	5.52	2.72	8.82	5.50	2.32	7.76	7.52	12.76	9.94	6.34	2.36	1.68
	十二甲基环六硅氧烷	2.32	2.90	0.86	3.80	2.48	0.20	4.20	3.70	6.32	4.88	2.66	1.64	0.90
	十四甲基环七硅氧烷	0.32	0.44	0.14	0.36	0.22	0.02	0.64	0.36	1.16	0.70	0.22	0.16	0.08
	十六甲基环八硅氧烷	0.02	0.04	0.02	0.02	—	0.08	0.02	0.02	—	—	—	—	—
	种类	8	8	8	8	7	7	7	7	6	5	7	5	6
	相对含量	9.84	11.30	5.50	16.60	9.62	8.70	13.94	12.74	22.30	17.04	10.62	5.00	3.10
其他	2,5-二甲基呋喃	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.20	—
	2-乙基-5-甲基呋喃	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.14	—
	苯酚	—	—	—	0.10	—	—	—	—	—	—	—	—	—
小计	种类	—	—	—	1	—	—	—	—	—	—	—	2	—
	相对含量	—	—	—	0.10	—	—	—	—	—	—	—	0.34	—
合计	种类	27	28	27	26	26	28	31	26	26	27	27	30	33
	相对含量	75.46	88.68	80.6	60.06	69.64	79.56	98.08	79.34	82.02	73.48	83.6	99.8	92.98

特有香气成分种类最多,共有 7 种,分别是 6-庚酸乙酯、8-壬酸乙酯、癸酸异丁酯、正己酸、4-十一烷酮、3-羟基丁醛、1,1-二乙氧基乙烷;其次为灵宝枣酒和灵武长枣酒,各含 6 种,前者特有香气成分包括异丁酸异戊酯、苯甲醇、3-羟基-2-丁酮、3-羟基丁醛、2,5-二甲基呋喃、2-乙基-5-甲基呋喃,其中 3-羟基丁醛相对含量可达 18.04%,异丁酸异戊酯相对含量达 2.38%,后者特有香气成分包括己-2-烯酸乙酯、8-壬酸乙酯、癸酸丙酯、十一酸乙酯、4-壬酮、4-十一烷酮;鸡心枣酒的特有香气成分包括 6-庚酸乙酯、癸酸丙酯、十一酸乙酯、苯甲醇、苯甲醛共 5 种;稷山板枣酒和三星枣酒的特有香气成分各包括 2 种,前者特有香气成分为苯乙醛和 1,1-二乙氧基乙烷,后者特有香气成分为羟基丁酮和苯酚;石门大枣酒、马牙枣酒、阜平大枣酒、哈密大枣酒、圆铃枣酒各含 1 种特有香气成分,分别为正己酸、羟基丁酮、癸酸异丁酯、DL-2-氨基丙酸、反式-2-庚酸乙酯。这些特有香气物质中,灵宝枣酒的特有香气成分异丁酸异戊酯贡献杏子和桃子香,灵武长枣酒和鸡心枣酒的特有香气成分十一酸乙酯贡献香蕉味,鸡心枣酒的另 2 种特有香气成分苯甲醇和苯甲醛都贡献苦杏仁味,后者还具有樱桃及坚果味,稷山板枣酒的特有香气成分苯乙醛贡献风信子香^[29-30]。但特有香气成分种类多或者某种特有香气成分相对含量高是否意味着该种枣酒特征性更强,还需要后续的研究,因为不同的香气分

子间具有相增、相减作用^[25]。

2.4 不同品种红枣发酵酒感官评价

由图 1 所示,13 个品种红枣发酵酒感官评分最高的为灵武长枣、狗头枣和鸡心枣发酵酒,表明三种酒的口感平衡度、色泽、香气综合性状为最佳。林雅静等^[21]对 7 个枣品种的研究也证明了狗头枣发酵酒口感的优越性。结合前文的品质指标分析,发现灵武长枣酒酒精度与狗头枣酒和鸡心枣酒存在较大差异(前者 8.2%,后两者分别为 10.97%、11.87%),但三者都是糖酸比<1,同时也最接近 1 的枣酒,均具备了

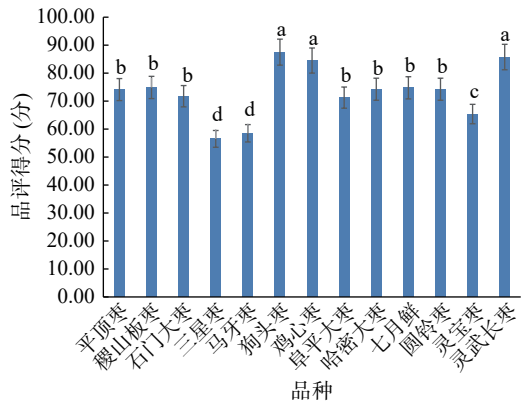


图 1 不同品种红枣发酵酒的感官评价分析

Fig.1 Sensory evaluation analysis of different fermented jujube wines

注:不同小写字母表示差异显著(P<0.05)。

较多优良品质属性:狗头枣和鸡心枣酒的干浸出物和甘油含量都比较高,干浸出物包括游离酸及盐类、单宁、色素、果胶、低糖、矿物质等,体现枣酒的质量,而甘油可增加枣酒的甜味和醇厚感,狗头枣酒还富含 V_C ;各自含有6种有机酸,但分别有1种有机酸含量高,灵武长枣酒苹果酸高,鸡心枣酒乙酸高,而狗头枣酒柠檬酸高,尽管这几种有机酸风味存在差异,但都可提高酒体酸度,从而增加清新爽利的口感;鸡心枣酒和灵武长枣酒总香气成分和特有香气成分种类均具备优势,狗头枣酒的总香气成分种类虽较少,但拥有最多种类的特有香气成分,另外狗头枣酒的丁酸乙酯、戊酸乙酯和异戊醇,鸡心枣酒的癸酸乙酯和十二酸乙酯,灵武长枣酒的乙酸异戊酯、己酸乙酯、庚酸乙酯和癸酸乙酯相对含量明显高于其他枣酒,这些香气物质都可贡献良好的风味属性。侯丽娟等^[11]筛选出的优势酿酒品种阜平大枣在本试验的13个品种中品评试验中处于中等水平,优势品质属性也不多,这与样本品种涵盖面不同有关。三星枣、马牙枣酒口感薄弱、平淡,普遍评价低,与其有机酸和香气成分种类少有关。灵宝枣香气物质种类虽多,但有机酸种类少,且酒体明显比其他品种发酵酒浑浊,因而感官性状也处于较低水平。

3 结论

13个品种的红枣在初始糖度20°Brix、20℃全封闭发酵下可酿制成干浸出物、 V_C 和甘油含量较高的半干红枣酒。柠檬酸、琥珀酸、乳酸、乙酸和奎宁酸是枣酒中普遍含有的有机酸,而酯类物质构成枣酒最主要的香气成分。不同品种发酵酒品质特点具有明显差异,而灵武长枣、狗头枣和鸡心枣发酵酒是品评得分最高的枣酒,三者共同品质属性是糖酸比小于1且最接近1,均有6种有机酸,特有香气物质种类多,且各自包含1种优势有机酸和2种以上可贡献良好风味属性的优势香气组分。另外,灵武长枣酒苹果酸含量高、香气物质种类最多,狗头枣酒 V_C 、甘油和柠檬酸含量较高,鸡心枣酒酒度高、香气物质丰富,虽然此3个枣品种的酿造酒特点也呈现出差异,但都表明其风味物质在口感融合中表现良好。在今后的适酿品种筛选中,本研究中灵武长枣、狗头枣和鸡心枣发酵酒共同品质特点是否可作为筛选依据需要更多的研究支持。

参考文献

[1] 李登科,王永康,薛晓芳,等.我国枣种质资源研究利用进展[J].果树资源学报,2021,2(1):1-6. [LI D K, WANG Y K, XUE X F, et al. Advances of research and utilization of jujube (*Ziziphus*) germplasm in China[J]. Journal of Fruit Resources, 2021, 2(1): 1-6.]

[2] WANG Y T, DAI Y P, XUE J R. Research of segmentation method on color image of Lingwu long jujubes based on the maximum entropy[J]. Eurasip Journal on Image and Video Processing, 2017, 34(5): 1-9.

[3] WANG L H, ZHI L, LIU Z G, et al. Genome size variation within species of Chinese jujube (*Ziziphus jujuba* Mill.) and its wild ancestor sour jujube (*Z. acidojujuba* Cheng et Liu)[J]. Forests, 2019, 10(5): 160.

[4] WANG B N, LIU L G, HUANG Q Y, et al. Quantitative assessment of phenolic acids, flavonoids and antioxidant activities of sixteen jujube cultivars from China[J]. Plant Foods for Human Nutrition Volume, 2020, 75(2): 154-160.

[5] 吴孔阳,杜如月,刘红霞,等.红枣功能特性及其发酵酒研究进展[J].中国酿造,2018(9):12-16. [WU K Y, DU R Y, LIU H X, et al. Research progress on functional characteristics of jujube and its fermented wine[J]. China Brewing, 2018(9): 12-16.]

[6] YUAN L, LI G F, YAN N, et al. Optimization of fermentation conditions for fermented green jujube wine and its quality analysis during winemaking[J]. Journal of Food Science and Technology, 2022, 59(2): 288-299.

[7] 尹蓉,张倩茹,殷龙,等.红枣汽酒饮品的研究与开发[J].食品科技,2020,45(4):80-84. [YIN R, ZHANG Q R, YIN L L, et al. Research and development of jujube wine spritzer[J]. Food Science and Technology, 2020, 45(4): 80-84.]

[8] MUHAMMAD A, MUHAMMAD Z, HAROON E T, et al. Comparative analyses of phenolic compounds and antioxidant properties of Chinese jujube as affected by geographical region and drying methods (Puff-drying and convective hot air-drying systems)[J]. Journal of Food Measurement and Characterization, 2021(15): 933-943.

[9] WANG L, WANG Y Q, WANG W Z, et al. Comparison of volatile compositions of 15 different varieties of Chinese jujube (*Ziziphus jujuba* Mill.)[J]. Journal of Food Science and Technology, 2019(56): 1631-1640.

[10] 刘金凤,尹蓉,张倩茹,等.枣品种营养评价及加工利用综述[J].现代农业科技,2018(16):238-240. [LIU J F, YIN R, ZHANG Q R, et al. Overview of nutrition evaluation and processing and utilization for jujube varieties[J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2018(16): 238-240.]

[11] 侯丽娟,严超,齐晓茹,等.不同品种红枣酿制枣酒的香气差异性研究[J].食品工业,2017,38(5):208-212. [HOU L J, YAN C, QI X R, et al. Study on the aroma diversity of the different varieties of jujube brewed jujube wine[J]. The Food Industry, 2017, 38(5): 208-212.]

[12] 马腾臻,宫鹏飞,史肖,等.红枣发酵酒香气成分分析及感官品质评价[J].食品科学,2021,42(4):247-253. [MA T Z, GONG P F, SHI X, et al. Aroma components and sensory properties of fermented jujube wine[J]. Food Science, 2021, 42(4): 247-253.]

[13] LEE J E, YUN J H, LEE A R, et al. Volatile components and sensory properties of jujube wine as affected by material preprocessing[J]. International Journal of Food Properties, 2018, 21(1): 2052-2061.

[14] 张倩茹,贾杰,尹蓉,等.离子色谱法测定枣酒中甘油含量[J].安徽农业科学,2019,47(18):201-203. [ZHANG Q R, JIA J, YIN R, et al. Determination of glycerol in jujube wine by ion chromatography[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2019, 47(18): 201-203.]

- [15] 中华人民共和国卫生部中国国家标准化管理委员会. GB/T 15037-2006 葡萄酒[S]. 北京: 中国标准出版社, 2012. [Standardization Administration of Ministry of Health of People's Republic of China. GB/T 15037-2006 Wines[S]. Beijing: China Standard Press, 2012.]
- [16] 张倩茹, 尹蓉, 王贤萍, 等. 乳酸菌发酵树莓饮料的工艺优化[J]. 食品科技, 2021, 46(5): 99-103. [ZHANG Q R, YIN R, WANG X P, et al. Research on optimization of fermented raspberry beverage by lactic acid bacteria[J]. Food Science and Technology, 2021, 46(5): 99-103.]
- [17] ALPER K, ÖZCAN B. Determination of phenolics, organic acids, minerals and volatile compounds of jujube (*Ziziphus jujuba* miller) jam produced by under vacuum evaporation compared with open pan method[J]. Journal of Food Measurement and Characterization, 2021(15): 1127-1138.
- [18] 李群, 李新明, 张倩茹, 等. 枣酒酿造工艺的优化及其香味成分分析[J]. 北方园艺, 2017, 17(12): 136-141. [LI Q, LI X M, ZHANG Q R, et al. Optimization of fermentation process for jujube wine and analysis of flavor components[J]. Northern Horticulture, 2017, 17(12): 136-141.]
- [19] 中华人民共和国卫生部中国国家标准化管理委员会. GB/T 15038-2006 葡萄酒、果酒通用分析方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2012. [Standardization Administration of Ministry of Health of People's Republic of China. GB/T 15038-2006 Analytical methods of wine and fruit wine[S]. Beijing: China Standard Press, 2012.]
- [20] REDDY L V A, JOSHI V K, REDDY O V S. Utilization of tropical fruits for wine production with special emphasis on mango (*Mangifera indica* L.) wine[J]. Microorganisms in Sustainable Agriculture and Biotechnology, 2011(12): 679-710.
- [21] 林静雅, 刘邻渭, 严陇兵, 等. 原料品种和制浆方法对枣酒多酚含量和感官品质的影响[J]. 中国酿造, 2012, 31(1): 196-200. [LIN J Y, LIU L W, YAN L B, et al. Effects of jujube varieties and pulping methods on polyphenol contents and sensory qualities of jujube wines[J]. China Brewing, 2012, 31(1): 196-200.]
- [22] 王博. 不同酵母对蓝莓酒中有机酸的影响[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2018. [WANG B. Effects of different yeasts on organic acids in blueberry wine[D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2018.]
- [23] VIOLETA I P, DRAGANA P, SASA M. Rapid and simple method for determination of target organic acids in wine using HPLC-DAD analysis[J]. Food Analytical Methods, 2020, 13(2): 1078-1087.
- [24] 杜庆爽, 朱靖博, 丁燕, 等. 枣酒发酵过程中成分变化规律研究[J]. 食品科技, 2014, 39(6): 71-75. [DU Q S, ZHU J B, DING Y, et al. Composition variation during fermentation of jujube wine[J]. Food Science and Technology, 2014, 39(6): 71-75.]
- [25] CAPONE S, TUFARIELLO M, SICILIANO P. Analytical characterisation of Negroamaro red wines by "Aroma Wheels" [J]. Food Chemistry, 2013, 141: 2906-2915.
- [26] OKTAY Y, HACER G, DIDEM S, et al. Floral authentication of some monofloral honeys based on volatile composition and physicochemical parameters[J]. European Food Research and Technology, 2022(248): 2145-2155.
- [27] YAO Y, CHEN K, YANG X Y, et al. Comparative study of the key aromatic compounds of Cabernet Sauvignon wine from the Xinjiang region of China[J]. Journal of Food Science and Technology, 2021(58): 2109-2120.
- [28] 江飞凤, 龙运忠, 谭晓辉, 等. 蜜柚发酵酒与蒸馏酒香气成分的 GC-MS 分析[J]. 中国酿造, 2020, 39(11): 173-178. [JIANG F F, LONG Y Z, TAN X H, et al. Analysis of aroma components of fermented wine and distilled liquor of pomelo by GC-MS[J]. China Brewing, 2020, 39(11): 173-178.]
- [29] 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 Z H, MENG Q F, CHEN J K, et al. Fermentation process optimization and aroma components analysis of red pear wine with candy sugar[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(6): 228-235.]
- [30] 尹晓洁, 陈钢, 简素平, 等. 磷酸氢二铵对枣酒发酵性能和挥发性成分的影响[J]. 食品科学, 2018, 39(4): 132-137. [YIN X J, CHEN G, JIAN S P, et al. Effects of diammonium phosphate on the fermentation performance and volatile composition of jujube wine[J]. Food Science, 2018, 39(4): 132-137.]