

## 发酵方式对苹果幼果果酒品质及香气成分的影响

安琪<sup>1</sup>, 张霞<sup>1</sup>, 郭玉琪<sup>1</sup>, 马艳弘<sup>1,2</sup>, 王翔<sup>3</sup>, 王愈<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>山西农业大学食品科学与工程学院 山西晋中 030801

<sup>2</sup>江苏省农业科学院农产品加工研究所 南京 210014

<sup>3</sup>晋中国家农高区管理委员会 山西晋中 030800

**摘要** 以酵母菌和植物乳杆菌为菌种,采用同时接种发酵(HF)、顺序发酵1(SX-1)、顺序发酵2(SX-2)、单一菌种发酵(SY)和自然发酵(NF)5种方式发酵苹果幼果果酒,探究发酵过程中还原糖、酒精度、多酚、黄酮及抗氧化能力的变化,并进行感官评定。采用顶空固相微萃取-气相色谱-质谱联用(HS-SPME-GC-MS)技术,测定5组果酒的挥发性风味物质。结果:发酵过程中,5组果酒的还原糖含量先下降后趋于稳定;酒精度先上升后趋于稳定;多酚、黄酮和抗氧化能力先上升后下降。5组果酒共检测出76种香气成分,其中醇类18种,酯类30种,酸类5种,酮类6种,醛类2种。自然发酵风味物质最少,混菌发酵风味物质最多,其次是单一菌种发酵。自然发酵以醇类(58.53%)、酯类(18.61%)、酸类(12.64%)为主,接种发酵以醇类(63.21%~68.81%)和酯类(26.29%~28.56%)为主。与自然发酵相比,接种发酵含有更多的酯类、醇类,酒体醇厚,感官评分较高。结论:HF组在发酵过程中消耗还原糖的能力最强,多酚[(785.89±9.37)μg/mL]和黄酮[(317.96±8.75)μg/mL]含量最高,同时也表现出较强的抗氧化能力(85.06%~92.12%),并且HF组感官评分最高(90.05分),挥发性风味物质较丰富。

**关键词** 苹果幼果;果酒;品质;抗氧化;挥发性成分

**文章编号** 1009-7848(2025)01-0335-13 **DOI:** 10.16429/j.1009-7848.2025.01.032

为了保证苹果的品质,果农会进行疏果,导致大量幼果丢弃在果园,不仅浪费资源,而且污染环境。研究表明,苹果幼果中富含大量生物活性物质,如多酚、多糖等,且幼果中的多酚含量约为成熟苹果的10倍<sup>[1]</sup>,具有抗氧化、抗癌、抗过敏和抗菌等作用<sup>[2-3]</sup>。近年来,对苹果幼果的研究主要集中在多糖、多酚等的提取、利用上,如用苹果幼果多酚壳聚糖复合膜进行保鲜<sup>[4]</sup>,研制苹果幼果多酚漱口水<sup>[5]</sup>等,然而与之相关的功能食品开发相对较少。果酒因营养价值高,口感醇香而备受人们喜爱。将苹果幼果制成果酒是实现其高值化利用的重要途径。

发酵可改善苹果幼果的涩味,提高人们对它的接受度,从而实现对苹果幼果的高值化利用。目前,对果酒的研究主要集中在工艺优化、抗氧化性

和挥发性成分等方面。如黎敏仪等<sup>[6]</sup>对石斛花金柚幼果果酒的发酵工艺进行研究,结果表明,接种0.09%SY酵母后,在24℃发酵9d,得到的产品风味独特、品质优良。丁吉星等<sup>[7]</sup>在嘉宝果酒中共测出酯类、醇类、有机酸、醛酮类、萜烯类以及芳香族化合物等104种风味物质。金海炎等<sup>[8]</sup>研究表明单菌发酵猕猴桃果酒的抗氧化能力整体低于混菌发酵。

目前对不同方式发酵果酒的品质以及发酵过程中果酒品质变化的研究较少。本试验选择酵母菌和植物乳杆菌发酵果酒,酵母主要负责酒精发酵,产生乙醇和一些酯类,乳酸菌可用于苹果酸乳酸发酵,具有降低酸度,维持微生物稳定性和形成香气等能力<sup>[9]</sup>。本文研究不同方式发酵的苹果幼果果酒理化指标、活性成分和抗氧化性的变化规律,分析其香气成分,以期明确发酵方式对果酒品质的影响。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

富士苹果幼果,采摘自山西皓美果蔬有限公

收稿日期:2024-01-15

基金项目:吕梁市重点研发计划项目(2021NYGG-2-38);  
山西省农业重大技术协同推广计划项目  
(2022xttg03-05)

第一作者:安琪,女,硕士生

通信作者:王愈 E-mail: sxtgwy@126.com

司基地;酿酒酵母(*Saccharomyces cerevisiae*),安琪酵母股份有限公司;植物乳杆菌(*Lactobacillus plantarum*),西安西海生物科技有限公司;白砂糖、柠檬酸、抗坏血酸(食品级),广州豪翔精细化工有限公司;福林酚、DNS试剂,北京索莱宝科技有限公司;1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(DPPH)、2,2'-联氮-双(3-乙基苯并噻唑啉-6-磺酸)二铵盐(ABTS),上海蓝季生物。

## 1.2 仪器与设备

Trace 1300 气象色谱-质谱联用仪,美国 Thermo 公司;ST3100 型 pH 计,奥豪斯仪器有限公司;P4 型紫外-可见分光光度计,上海美谱达仪器有限公司;WYT-A 糖度计,成都豪创光电仪器有限公司;酒精计,衡水创纪仪器仪表有限公司;HWS-150 恒温恒湿箱,北京科伟永兴仪器有限公司;SW-CJ-2FB 超净工作台,浙江绍兴博伟仪器设备有限公司。

## 1.3 试验方法

1.3.1 工艺流程 自然发酵(NF组):苹果幼果→去核→切块、护色→熬煮 10 min→榨汁→调糖→分装→带渣发酵→果酒。

接种发酵:苹果幼果→去核→切块、护色→熬煮 10 min→榨汁→调糖→分装、灭菌→冷却→接种→带渣发酵→果酒。

### 1.3.2 操作要点

1) 原料预处理 将苹果幼果洗净,去核,切块,放入 1%的复合护色剂中(抗坏血酸:柠檬酸=1:2)护色。

2) 熬煮 按照料水比 1:2 熬煮 10 min 后,榨汁。

3) 调糖 用白砂糖将果汁的可溶性固形物调至 20 Brix,每瓶 100 mL 分装至 250 mL 锥形瓶。

4) 灭菌 在 80 °C 水浴锅中灭菌 15 min,冷却至室温。

5) 酵母菌活化 将酵母菌粉用 2%的蔗糖水在 37 °C 水浴活化 15 min。

6) 接种 HF 组同时接种 0.2%植物乳杆菌和 0.2%酵母菌;SX-1 组先接种 0.2%酵母菌,隔 1 d 接种 0.2%植物乳杆菌;SX-2 组先接种 0.2%植物乳杆菌,隔 1 d 接种 0.2%酵母菌;SY 组接种 0.2%酵母菌。

7) 发酵 将不同处理组置于 30 °C 发酵 12 d。前 2 d 用透气膜封口进行有氧发酵,之后用封口膜密封发酵。取调糖后的苹果幼果果汁记为第 0 天,发酵周期为 12 d。

1.3.3 还原糖和酒精度的测定 3,5-二硝基水杨酸比色法<sup>[10]</sup>测定还原糖含量;酒精度参照《食品安全国家标准 酒中乙醇浓度的测定》(GB 5009.225-2016)。

1.3.4 多酚含量的测定 采用福林-酚法<sup>[11]</sup>,以没食子酸含量为横坐标,于波长 765 nm 处测定吸光度,绘制标准曲线,得到回归方程  $y = 0.0114x + 0.027$ ,  $R^2 = 0.9971$ 。

1.3.5 黄酮含量的测定 采用硝酸铝法<sup>[12]</sup>,以芦丁浓度为横坐标,于波长 510 nm 处测定吸光度,绘制标准曲线,得到回归方程  $y = 0.4197x + 0.0081$ ,  $R^2 = 0.9973$ 。

1.3.6 抗氧化能力的测定 DPPH、ABTS 和羟自由基清除能力采用分光光度法<sup>[13-14]</sup>测定。

1.3.7 风味物质的测定 取 5 mL 样品放入 20 mL 进样瓶,加 1 g NaCl。进样瓶先在 45 °C 平衡 30 min,之后将老化处理过的萃取头插入进样瓶,顶空吸附 30 min 后解析。

GC-MS 条件:色谱条件:初温 40 °C,保持 3 min,按 7 °C/min 上升至 200 °C,再以 10 °C/min 上升至 230 °C,保持 3 min。色谱柱为 DB-5MS 石英毛细柱(60 m×0.25 mm,0.25 mm),载气(He)流速 1.0 mL/min,进样口温度 250 °C,不分流进样<sup>[15]</sup>。

质谱条件:离子源温度 230 °C,电子能量 70 eV,放射电流 150 uA,传输线温度 230 °C,质量扫描范围 35~450 u。

用 NIST02 质谱数据库检索定性分析,单个化合物的相对含量采用峰面积归一化法计算的百分比表示。

1.3.8 感官评定 邀请 10 名食品专业学生对 5 组果酒进行感官评价,评分标准<sup>[16]</sup>如表 1 所示。

## 1.4 数据处理

试验数据用 Excel 2019 整理,表示为“平均值±标准差”,用 Origin 2022 软件作图,IBM SPSS Statistics 23 进行数据处理和分析,试验平行 3 次。

表 1 果酒感官评分表

Table 1 Sensory scoring table of fruit wines

项目	评价标准	评分	等级
外观(20)	酒体呈黄绿色且色泽明亮	16~20	优
	酒体呈黄绿色,色泽较暗	11~15	中
	酒体呈黄绿色,少许褐变,色泽灰暗	<10	差
香气(30)	果香、酒香浓郁,协调悦人,无异味	26~30	优
	果香、酒香良好,较协调,无异味	16~25	中
	果香、酒香较淡,有少许异味	<15	差
滋味(30)	滋味、酒味醇厚、柔和、回味无穷	26~30	优
	酒质柔和、不涩不苦、酸甜度适中	16~25	中
	酒体寡淡,滋味不协调	<15	差
典型性(20)	典型性突出,风格独特	16~20	优
	有典型性,风格良好	11~15	中
	有典型性,风格一般	<10	差

## 2 结果与分析

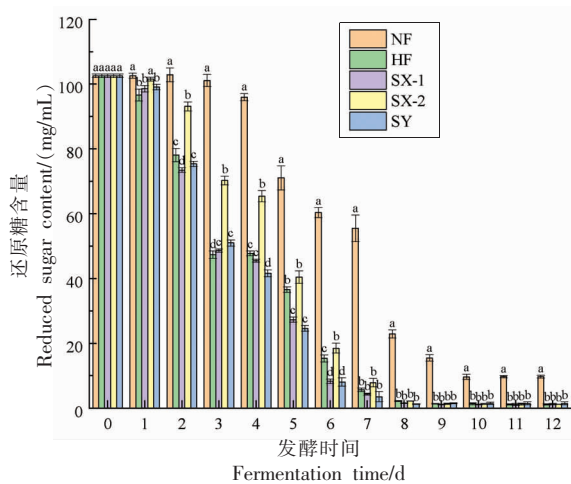
### 2.1 不同发酵方式对果酒还原糖和酒精度的影响

由图 1、图 2 可知,发酵前期,还原糖作为微生物增殖和代谢的重要来源被不断消耗,NF、HF、SX-1、SX-2、SY 组还原糖含量快速下降<sup>[17]</sup>,酿酒酵母以还原糖为主要碳源,产生乙醇与二氧化碳,导致酒精度上升。发酵后期,发酵液中大部分还原糖被酵母消耗,营养物质匮乏,酵母菌生长受到抑制,因此酒精度趋于稳定<sup>[18]</sup>。与其它组相比,NF 组在发酵结束时酒精度最低,还原糖含量最高,可能

是由于 NF 组酒醪中产生的酵母较少,或者存在的微生物转换乙醇能力较弱,这与 Wei 等<sup>[19]</sup>研究得出消耗糖越多得到越高的酒精度的结果一致。

### 2.2 不同发酵方式对果酒多酚含量的影响

由图 3 可知,5 组果酒的多酚含量呈先上升后下降的趋势。可能是发酵前期高渗透压的环境使多酚被溶解释放至发酵液中,同时大分子酚类物质在微生物作用下生成小分子酚类物质,使发酵液中多酚含量升高<sup>[20]</sup>。发酵后期,由于酵母生长繁殖产生了大量次级代谢产物,酚类物质会与多



注: 不同字母表示同一时间不同发酵方式之间差异显著 ( $P < 0.05$ ), 下同。

图 1 不同发酵方式对果酒还原糖含量的影响  
Fig.1 Effect of different fermentation methods on the reduced sugar content of fruit wine

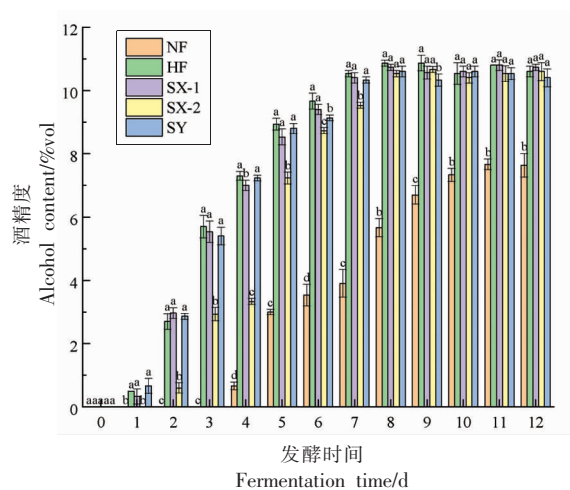


图 2 不同发酵方式对果酒酒精度的影响

Fig.2 Effects of different fermentation methods on the alcohol content of fruit wine

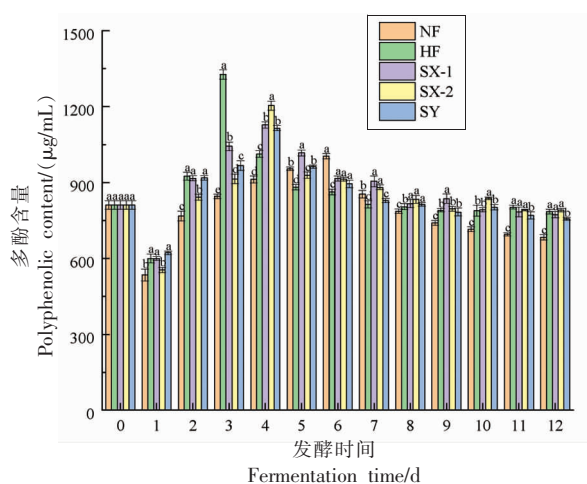


图3 不同发酵方式对果酒多酚含量的变化

Fig.3 Effect of different fermentation methods on the polyphenolic content of fruit wine

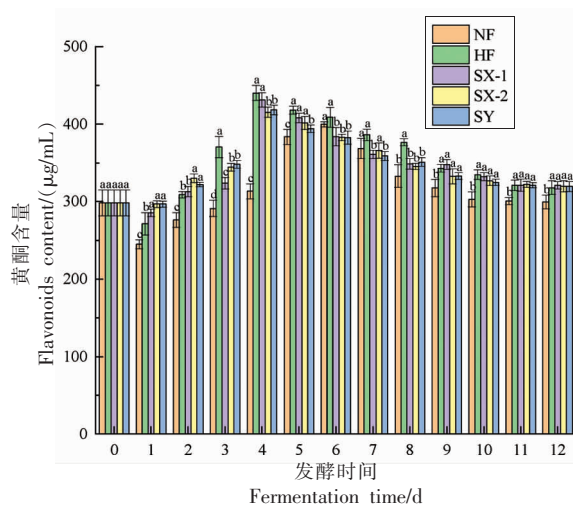


图4 不同发酵方式对果酒黄酮含量的影响

Fig.4 Effect of different fermentation methods on flavonoids content in fruit wine

糖、蛋白质等结合,使多酚含量下降<sup>[21]</sup>。HF组和NF组的多酚含量分别在发酵第3天和第6天升至最高,分别为1326.94 μg/mL和1004.07 μg/mL。SX-1、SX-2、SY组多酚含量在发酵第4天升至最高,分别为1127.86,1204.25,1115.14 μg/mL。与HF、SX-1、SX-2组相比,发酵结束后的SY组中的多酚含量较低,可能是因为HF、SX-1、SX-2组中添加了植物乳杆菌,将大分子酚类物质转换成小分子物质<sup>[22]</sup>,这与章佳玫等<sup>[23]</sup>的研究结果一致。5组中NF组多酚含量最低,可能是自然发酵的酒精度较低,而多酚在乙醇中的溶解度较高<sup>[24]</sup>。

### 2.3 不同发酵方式对果酒黄酮含量的影响

由图4可知,5组果酒黄酮含量先升高后缓慢降低。在酒精发酵初期,黄酮含量上升可能是酵母菌将大量糖类物质转化为乙醇,而黄酮类物质在乙醇中的溶解度比在水中高,致使果酒中的黄酮溶出。发酵后期,黄酮含量下降,可能是酵母生长繁殖产生的次级代谢产物使黄酮发生聚合反应<sup>[25]</sup>。张秀玲等<sup>[26]</sup>研究发现在蓝靛酒发酵过程中,黄酮含量先升高后下降,与本研究结果一致。HF、SX-1、SX-2、SY组的黄酮含量均在第4天时增至最高,分别为440.18,431.12,415.25,418.4 μg/mL。NF组的黄酮含量在第6天达到最高,为399.73 μg/mL。接种发酵的果酒中黄酮含量无明显差距,NF组的黄酮含量较低,可能其它4组的酒精度较高,而黄酮在乙醇中的溶解度高。

### 2.4 不同发酵方式对果酒抗氧化能力的影响

由图5可知,5组果酒的DPPH自由基清除率在发酵期间先上升后缓慢下降,与发酵过程中多酚和黄酮含量的变化趋势一致。发酵结束时,DPPH自由基清除率由大到小依次为:HF组>SX-2组≈SX-1组>SY组>NF组。在整个发酵过程中,NF组的DPPH自由基清除率最低,在发酵第6天时清除率达到最大,为81.94%;HF、SX-1组的DPPH自由基清除率也在第6天达到最大,分别为89.6%和87.56%;SX-2组和SY组在第5天时

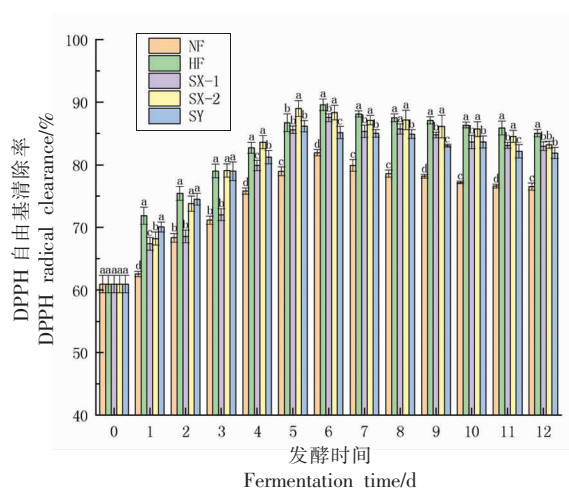


图5 不同发酵方式对果酒DPPH自由基清除率的影响

Fig.5 Effect of different fermentation methods on DPPH radical clearance

DPPH 自由基清除率达到最大, 分别为 88.99% 和 86.18%。

由图 6 可知, 5 组果酒的羟自由基清除率先上升后缓慢下降, NF 组、HF 组和 SY 组在第 6 天的羟自由基清除率达到最高, SX-1 组在第 4 天的羟自由基清除率达到最高, SX-2 组在第 5 天的羟自由基清除率达到最高。在发酵过程中, NF 组的羟自由基清除率最低, HF 组最高, SY 组稍高于 SX-1 和 SX-2 组。发酵结束后, NF、HF、SX-1、SX-2 和 SY 组的羟自由基清除率分别为 75.99%, 91.78%, 86.63%, 88.05%, 89.24%, 分别比初始值增加了 12.31%, 28.1%, 22.95%, 24.37%, 25.56%。

如图 7 所示, 5 组果酒的 ABTS 自由基清除率在发酵过程中呈先上升后下降的趋势, 发酵结束时, ABTS 自由基清除率依次为: HF 组 > SX-2 组 > SX-1 组 ≈ SY 组 > NF 组, 且均可达到初始值的 1 倍以上, NF 组和 HF 组在第 4 天的 ABTS 自由基清除能力最强, SY 组和 SX-1 组在发酵第 5 天的 ABTS 自由基清除能力最高, SX-2 组在第 6 天的 ABTS 自由基清除能力最强。

综上, 5 组果酒的 DPPH 自由基清除率、羟自由基清除率和 ABTS 自由基清除率均呈先上升后下降的趋势, 这与周佳悦等<sup>[27]</sup>的研究结果一致。由于苹果幼果果汁中多酚类物质含量高, 其中的酚羟基可以提供活泼的氢来终止自由基连锁反应, 从而起到抗氧化作用<sup>[28]</sup>, 原料中含有的原花青素水解成单体也有助于增加多酚含量<sup>[29]</sup>, 同时, 微生物发酵过程中把复杂的酚类化合物转化成小分子酚类物质, 增加了总酚含量, 提高了发酵体系的抗氧化能力<sup>[30]</sup>。HF、SX-1 和 SX-2 组的抗氧化能力比 SY 组高, 说明混菌发酵比单一酵母菌发酵抗氧化能力强, Chen 等<sup>[31]</sup>发现用酿酒酵母和植物乳杆菌混合发酵柑橘汁比纯酿酒酵母发酵的抗氧化能力强。

## 2.5 不同发酵方式对果酒挥发性成分的影响

### 2.5.1 果酒挥发性成分比较

果酒的香气主要受酯类、高级醇类、萜烯类和酸类的影响<sup>[32]</sup>。由表 2 和图 8 可知, 5 组果酒共检测到醇类、酯类、酮类、酸类、酚类、醛类、烃类, 共 76 种挥发性物质, 其中酯类、醇类的种类和含量都较高, 它们是重要的风味物质。Li 等<sup>[33]</sup>用植物乳杆菌和酵母菌发酵苹果

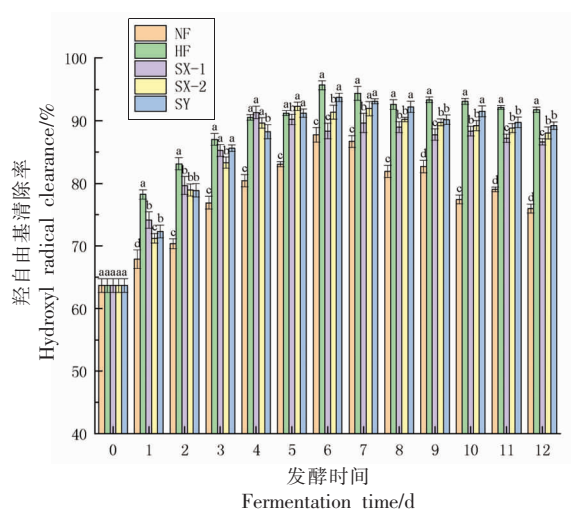


图 6 不同发酵方式对果酒羟基自由基清除率的影响

Fig.6 Effect of different fermentation methods on hydroxyl radical clearance in fruit liquor

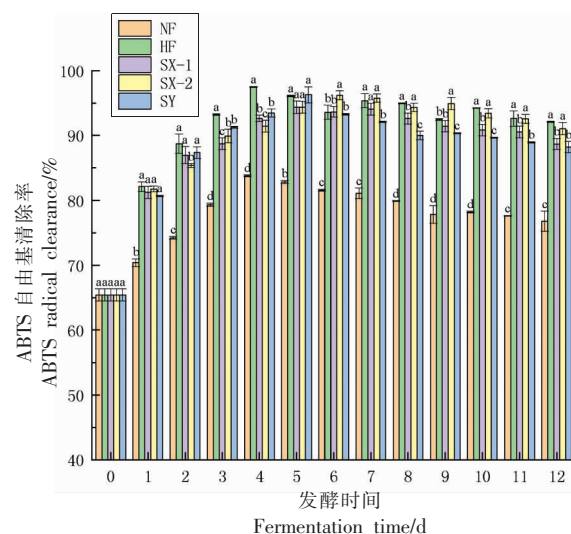


图 7 不同发酵方式对果酒 ABTS 自由基清除率的影响

Fig.7 Effect of different fermentation methods on ABTS radical clearance in fruit liquor

汁, 发现各发酵组中酯类、醇类物质最多。绝大部分酯类物质能散发出水果与花香气味, 可使酒体风味更加浓郁厚重; 适量的醇类物质会赋予果酒醇厚的口感<sup>[34-35]</sup>, 增加香气的协调性。

NF 组中乙醇、异戊醇、正己醇、正辛醇、苯乙醇、乙酸异戊酯、乙酸乙酯、辛酸乙酯、冰醋酸、壬醛等物质含量较高; 乙醇、异戊醇、苯乙醇、乙酸异戊酯、辛酸乙酯、正辛酸异戊酯、壬醛等物质是 HF 组的主要挥发性物质; 乙醇、异戊醇、苯乙醇、乙酸

表2 不同发酵方式果酒的挥发性成分含量(%)

Table 2 The volatile ingredient content of fruit wine in different fermentation methods (%)

序号	名称	组别				
		NF	HF	SX-1	SX-2	SY
	醇类					
1	乙醇	15.83	20.15	13.03	14.57	11.67
2	异戊醇	27.69	28.55	28.48	28.19	28.09
3	(2R,3R)-(-)-2,3-丁二醇	0.07				
4	3-甲基-2-己醇	0.09	0.07	0.06	0.05	0.05
5	正己醇	0.13				
6	6-甲基-5-庚烯-2-醇	0.02				
7	(+)-异松萜醇	0.02				
8	异蒲勒醇	0.13				
9	正辛醇	0.42				
10	芳樟醇;沉香醇	0.1	0.08	0.04	0.07	0.05
11	苯乙醇	14.03	19.8	20.38	20.7	20.12
12	6-甲基庚醇		0.05			0.06
13	异丁醇		0.11	0.06	0.11	0.11
14	4-戊烯-2-醇			3.13	4.36	2.87
15	仲戊醇			0.01		
16	二氢香芹醇			0.02		0.03
17	百秋李醇			0.01		0.01
18	(S)-(-)-紫苏醇					0.15
	酯类					
19	乙酸乙酯	6.06				
20	乙酸异戊酯	1.61	1.18	1.25	1.26	1.7
21	己酸乙酯	0.81	0.85	1.18	0.93	1.47
22	辛酸乙酯	8.51	12.24	12.95	12.67	13.48
23	甲酸-2-苯乙酯	0.15				
24	癸酸乙酯	1.05	9.3	9.79	10.27	9.21
25	月桂酸乙酯	0.33	0.43	0.39	0.48	0.43
26	山萘酸乙酯	0.03				
27	十四酸乙酯	0.02				
28	棕榈酸乙酯	0.01		0.01	0.01	0.01
29	2,4,4-三甲基戊烷-1,3-二基双(2-甲基丙酸酯)	0.03				
30	丁酸戊酯		0.06	0.06		
31	3-甲基丁酸乙酯		0.06	0.06	0.06	0.08
32	甲酸异戊酯		0.02	0.01	0.01	0.03
33	庚酸乙酯		0.1	0.1	0.08	0.1
34	己酸异戊酯		0.14	0.15	0.16	0.19
35	乙酸苯乙酯		0.2	0.24	0.27	0.26
36	壬酸乙酯		0.06		0.05	0.05
37	辛酸异丁酯		0.06	0.06	0.06	0.06
38	正辛酸异戊酯		0.24	0.25	0.27	0.21
39	癸酸异戊酯		0.07	0.07	0.08	0.06
40	2-甲基丁基乙酯			0.01		
41	反式-4-癸烯酸乙酯			1.4		1.04
42	异丁酸异戊酯				0.05	
43	油酸苜酯				0.01	0.01
44	乙基 9-癸烯酸酯		1.28		0.52	
45	丁酸乙酯					0.07
46	2-甲基丁酸乙酯					0.05

(续表 2)

序号	名称	组别				
		NF	HF	SX-1	SX-2	SY
47	乙酸戊酯					0.01
48	1-萜品-4-基乙酸酯					0.04
	酸类					
49	L-丙氨酰甘氨酸	0.04	0.03	0.05	0.04	0.11
50	冰醋酸	12.46				
51	O-苄基-L-丝氨酸	0.12				
52	8-甲基壬-6-烯酸	0.02				
53	乙基-(Z)-4-癸烯酸				0.15	
	酮类					
54	紫罗兰酮	0.04			0.05	0.05
55	大马士酮	0.18				
56	鸢尾酮	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01
57	甲基庚烯酮		0.06	0.09	0.12	
58	2-壬酮		0.05	0.06	0.05	0.07
59	$\beta$ -甲基紫罗兰酮				0.11	
	醛类					
60	壬醛	0.43	0.31	0.31	0.19	0.28
61	3-羟基丁醛			0.02	0.01	
	酚类					
62	2,4-二叔丁基酚	0.38	0.14	0.12		0.12
	烃类					
63	1,7,7-三甲双环[2.2.1]庚-2-烯	0.33	0.05		0.04	
64	1,1-二乙氧基乙烷		0.51		0.45	0.34
65	正十四烷		0.04			
66	二十八烷		0.09	0.08		
67	正十七烷		0.01			
68	萜品油烯		0.03			
69	角鲨烯		0.01			
70	反-2,4-二甲基氧杂环丁烷			1.82	1.72	
71	正十九烷			0.01	0.01	
72	1-(1-乙氧基乙氧基)戊烷				0.11	0.09
73	亚硝基甲烷					0.02
74	正十六烷					0.04
75	3,8-二甲基-十一烷					0.01
76	4-萜烯	0.1				

异戊酯、己酸乙酯、辛酸乙酯、癸酸乙酯等物质是 SX-1 组的主要挥发性物质; SX-2 组的乙醇、异戊醇、苯乙醇、4-戊烯-2-醇、乙酸异戊酯、辛酸乙酯、癸酸乙酯等物质含量较高; SY 组乙醇、异戊醇、苯乙醇、4-戊烯-2-醇、乙酸异戊酯、己酸乙酯、辛酸乙酯、癸酸乙酯等物质含量较高。其中乙醇、异戊醇、芳樟醇、苯乙醇、乙酸异戊酯、己酸乙酯、辛酸乙酯、癸酸乙酯、月桂酸乙酯是它们共有的挥发性物质。SY、SX-1、SX-2、HF 和 NF 组的挥发性物质分别有 43, 38, 39, 36, 33 种, HF 组醇类含量最多

(相对含量 68.81%), 比 NF 组增加了 10.28%。HF、SX-1、SX-2、SY 组酯类含量差异不显著 (相对含量 26.29%~28.56%), 均高于 NF 组 (相对含量 18.61%), 可能是热处理使酯化反应加速<sup>[36]</sup>。NF 组酸类含量最多, 种类最丰富, 比其它组增加了冰醋酸、O-苄基-L-丝氨酸、8-甲基壬-6-烯酸。此外, 5 组果酒中均含有乙醇、异戊醇、芳樟醇、苯乙醇、乙酸异戊酯、辛酸乙酯、癸酸乙酯、鸢尾酮等特征性香气成分, 其中, 芳樟醇赋予果酒花香、玫瑰香、薰衣草香, 乙酸苯乙酯、己酸乙酯分别有玫瑰花香、

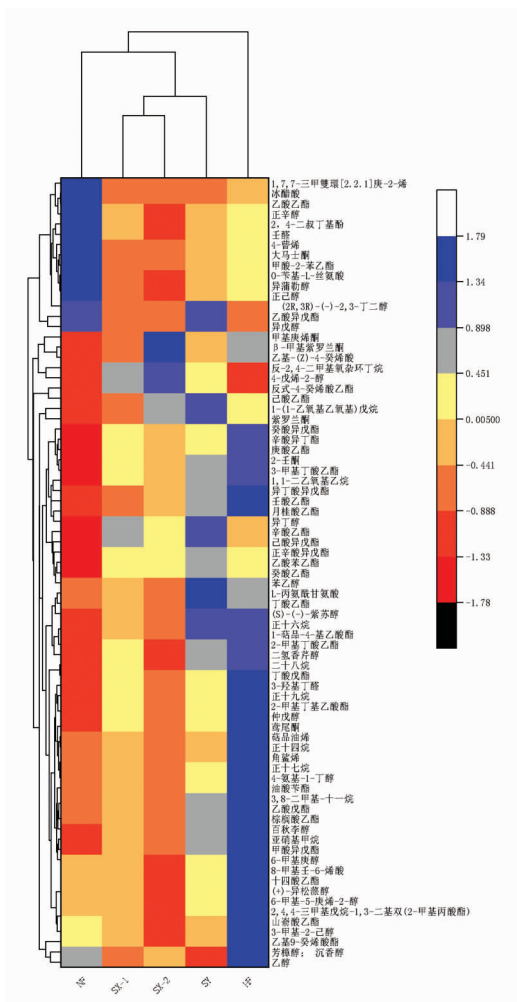


图 8 不同发酵方式果酒挥发性物质差异分析热图  
Fig.8 Heat maps of volatile components in fruit wines with different fermentation methods

青苹果香, 癸酸乙酯有椰子香<sup>[37]</sup>, 能使酒体更加绵甜醇厚。由图 9 可知, 5 组果酒醇类和酯类含量占比最高, 其次是酸类和烃类, 其中 NF 组产生的酸类物质含量高于其它组。

2.5.2 不同方式发酵苹果幼果果酒挥发性成分主成分分析 主成分分析 (Principal component analysis, PCA) 是通过确定几个能代表样本中绝大多数数据的主成分因子, 并根据主成分因子对不同样本的贡献率来评价样本之间差异性的一种统计方法<sup>[38]</sup>。由图 10 可知, PC1、PC2 的方差贡献率分别为 51.8% 和 21.9%, 累计贡献率为 73.7%, 远大于可信度 60%, 因此, 足以反映不同发酵方式之间的差异。

不同样品与各挥发性成分间的相关关系、样

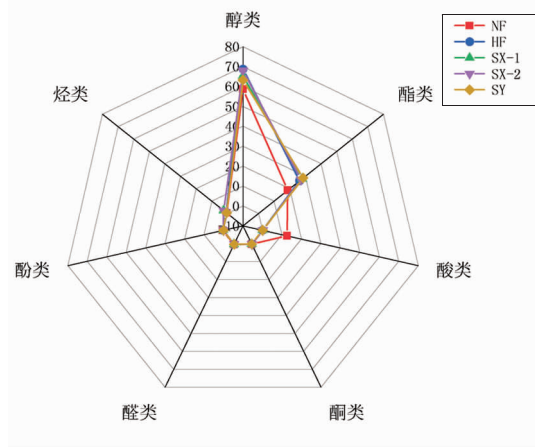


图 9 不同发酵方式果酒挥发性成分雷达图  
Fig.9 Radar map of volatile components of fruit wines with different fermentation methods

品及挥发性成分在图中所处位置及其距离远近反映了彼此间的相关性<sup>[39]</sup>。不同样品位于主成分分析图的不同区域, 说明不同方式发酵的苹果幼果果酒挥发性风味物质之间存在较大差异。由图 10 可以直观地看出, 5 组果酒被分成 3 个集群, 说明不同方式发酵的果酒挥发性成分差异显著, 区域分布明显。其中, SY 组处于第一象限, NF 组处于第二象限, HF、SX-1 和 SX-2 组位于第四象限, 说明 SY、NF 组和其它 3 组果酒挥发性风味物质的差异性较大。HF、SX-1 和 SX-2 组位于同一象限, 说明它们之间的挥发性成分差异较小, 且 SX-1 和 SX-2 组距离最近, 说明接种顺序对挥发性风味物质的影响不大。辛酸乙酯、己酸乙酯、(S)-(-)-紫苏醇、百秋李醇等为 SY 组主要挥发性物质; 乙酸异戊酯、棕榈酸乙酯、紫罗兰酮、2,4-二叔丁基酚等对 NF 组果酒风味贡献较大。SX-1、SX-2 和 HF 组主要挥发性化合物为异戊醇、乙基 9-癸烯酸酯、甲基庚烯酮、反式-4-癸烯酸乙酯等。

2.6 5 组果酒的感官评价结果

5 组苹果幼果果酒均符合 GB/T 15037-2006 的要求, 感官评分结果如表 3 所示, 感官评分由高到低依次为 HF、SX-1、SX-2、SY、NF 组。HF 组酒体呈黄绿色且色泽明亮, 具有苹果香和酒香, 风味协调, 口感柔和, 典型性较好。3 组混菌发酵果酒的感官评分优于自然发酵和单一菌种发酵, 这与马宁原等<sup>[40]</sup>的研究结果一致。NF 组酸类物质含量



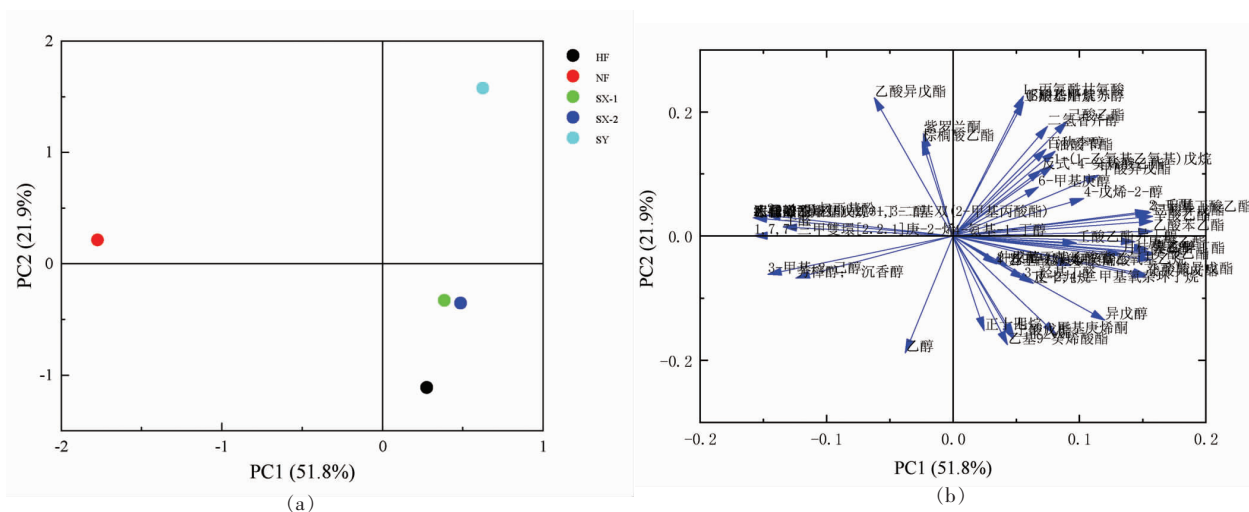


图 10 不同发酵方式果酒的 PCA 图

Fig.10 PCA diagram of fruit wine with different fermentation methods

表 3 5 组果酒的感官评价结果

Table 3 Sensory evaluation results of 5 groups of fruit wines

组别	外观	香气	滋味	典型性	总分
NF	16.50 ± 0.77 <sup>b</sup>	23.55 ± 0.99 <sup>b</sup>	24.70 ± 0.56 <sup>c</sup>	14.95 ± 0.88 <sup>b</sup>	79.70 ± 1.42 <sup>d</sup>
HF	17.45 ± 0.52 <sup>a</sup>	27.30 ± 0.68 <sup>a</sup>	27.75 ± 0.81 <sup>a</sup>	17.55 ± 0.76 <sup>a</sup>	90.05 ± 1.62 <sup>a</sup>
SX-1	16.80 ± 0.46 <sup>a</sup>	26.50 ± 0.81 <sup>a</sup>	26.65 ± 1.00 <sup>b</sup>	17.30 ± 0.60 <sup>b</sup>	87.25 ± 2.87 <sup>b</sup>
SX-2	17.20 ± 0.71 <sup>a</sup>	26.35 ± 1.28 <sup>a</sup>	25.35 ± 1.09 <sup>c</sup>	17.25 ± 0.57 <sup>a</sup>	86.15 ± 2.00 <sup>b</sup>
SY	16.50 ± 0.74 <sup>b</sup>	24.40 ± 0.79 <sup>b</sup>	26.25 ± 0.86 <sup>b</sup>	16.60 ± 0.90 <sup>b</sup>	83.75 ± 3.29 <sup>c</sup>

注:不同小写肩标字母表示组间差异显著(P<0.05)。

高,醇类、酯类物质含量低,香气较弱,滋味偏酸,酒味偏弱,整体协调性不佳。

### 3 结论

测定 5 组果酒发酵过程中还原糖、酒精度、多酚、黄酮、抗氧化能力的变化,并对其进行感官评定。结果表明:接种发酵在发酵期间酒精度的增长和还原糖的消耗速度较快,自然发酵最慢,发酵提高了果酒的多酚、黄酮含量及抗氧化能力,HF 组酒香醇厚,风味协调,感官评分最佳,多酚和黄酮含量在发酵期间均高于其余组,NF 组最低,SX-1、SX-2 和 SY 组之间无显著差异。

通过 GC-MS 检测出 5 组果酒中共有 76 种挥发性物质,包括醇类、酯类、酸类、酮类、醛类、酚类和烃类 7 个类别,醇类和酯类对果酒的挥发性风味贡献最大。接种发酵比自然发酵增加了醇类和酯类物质,减少了酸类物质。HF 组比 SX-1、SX-2、

SY 组增加了乙基 9-癸烯酸酯、2,4-二叔丁基酚、萘品油烯等物质;SY 组比 SX-1、SX-2、HF 组增加了(S)-(-)-紫苏醇、丁酸乙酯、乙酸戊酯等物质;SX-1 组的醇类、酸类、酮类物质的含量略低于 SX-2 组,醛类和酚类物质的含量高于 SX-2 组。通过 PCA 分析发现,不同发酵方式的果酒挥发性风味物质存在差异,SX-1、SX-2、HF 组的挥发性风味物质较接近,两组顺序发酵的果酒风味最接近。综上,混菌发酵比自然发酵、单一菌种发酵的挥发性风味物质更丰富,抗氧化能力最强,多酚、黄酮含量相对较高,发酵速度也较快。

### 【致谢】

本文得到“晋中国家农高区食品科学与工程教授、博士工作站资助项目(JZNGQBSGZZ003)”的支持。

## 参 考 文 献

- [1] HOU Y J, GONG T, ZHANG J T, et al. Structural characterization and emulsifying properties of thinned-young apples polysaccharides[J]. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 2019, 516(4): 1175-1182.
- [2] SUN L J, SUN J J, THAVARAJ P, et al. Effects of thinned young apple polyphenols on the quality of grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) surimi during cold storage[J]. *Food Chemistry*, 2017, 224: 372-381.
- [3] NIU P F, WANG F R, YUAN K, et al. Alkaline-extracted thinned young apple polyphenols as an effective scavenger against nitrite in pickles: A comparative study with ethanol-extracted polyphenols[J]. *Food Control*, 2021, 130: 108387.
- [4] 孙娇娇. 苹果幼果多酚壳聚糖复合膜性质及对鱼肉保鲜作用的研究[D]. 西安: 陕西师范大学, 2017.
- SUN J J. Research on the properties of apple young fruit polyphenol chitosan composite film and its effect on fish preservation[D]. Xi'an: Shaanxi Normal University, 2017.
- [5] 王洪丽. 苹果多酚产品开发[D]. 大连: 大连工业大学, 2015.
- WANG H L. Product development of apple polyphenols[D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2015.
- [6] 黎敏仪, 黄嫣怡, 陈子炆, 等. 石斛花金柚幼果功能性果酒酿造工艺研究[J]. *中国酿造*, 2020, 39(4): 131-136.
- LI M Y, HUANG Y Y, CHEN Z Y, et al. Study on the brewing process of functional fruit wine from young fruits of *Dendrobium* flower and golden grapefruit[J]. *China Brewing*, 2020, 39(4): 131-136.
- [7] 丁吉星, 何玉云, 梁艳英, 等. 新型嘉宝果起泡酒香气成分及特征香气分析[J]. *食品科学*, 2014, 35(24): 145-150.
- DING J X, HE Y Y, LIANG Y Y, et al. Aroma composition and characteristic aroma analysis of a new type of carbofruit sparkling wine[J]. *Food Science*, 2014, 35(24): 145-150.
- [8] 金海炎, 王丰园, 鲁云凤, 等. 混菌发酵猕猴桃果酒工艺条件优化及抗氧化性研究[J]. *食品与发酵工业*, 2022, 48(3): 177-185.
- JIN H Y, WANG F Y, LU Y F, et al. Optimisation of process conditions and antioxidant properties of kiwifruit wine fermented with mixed bacteria[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2022, 48(3): 177-185.
- [9] CHEN X D, LIN M, HU L J, et al. Research on the effect of simultaneous and sequential fermentation with *Saccharomyces cerevisiae* and *Lactobacillus plantarum* on antioxidant activity and flavor of apple cider[J]. *Fermentation*, 2023, 9(2): 102.
- [10] 赵凯, 许鹏举, 谷广焯. 3,5-二硝基水杨酸比色法测定还原糖含量的研究[J]. *食品科学*, 2008, 29(8): 534-536.
- ZHAO K, XU P J, GU G Y. Determination of reducing sugar content by colourimetric method with 3,5-dinitrosalicylic acid[J]. *Food Science*, 2008, 29(8): 534-536.
- [11] 吴煜樟. 桑葚果渣醋的研究[D]. 贵阳: 贵州大学, 2020.
- WU Y Z. Research on mulberry pomace vinegar[D]. Guiyang: Guizhou University, 2020.
- [12] 孙方丹. 桑葚果醋的发酵工艺条件及生理活性研究[D]. 延吉: 延边大学, 2020.
- SUN F D. Research on fermentation process conditions and physiological activity of mulberry fruit vinegar[D]. Yanji: Yanbian University, 2020.
- [13] 郑若宇. 益生菌发酵苹果汁工艺优化及发酵过程中风味物质和功能性成分的变化[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2020.
- ZHENG R Y. Optimization of probiotic fermentation process for apple juice and changes in aroma substances and functional components during fermentation[D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2020.
- [14] 杨洋. 双菌种发酵山楂酵素及其功能性研究[D]. 天津: 天津农学院, 2020.
- YANG Y. Dual strain fermentation of hawthorn enzyme and its functionality[D]. Tianjin: Tianjin Agricultural College, 2020.
- [15] 任婷婷, 岳田利, 魏欣, 等. 益生菌发酵苹果浆工艺优化及发酵前后挥发性风味成分分析[J]. *食品科学*, 2019, 40(8): 87-93.
- REN T T, YUE T L, WEI X, et al. Process optimization of probiotic fermented apple pulp and anal-

- ysis of volatile flavour components before and after fermentation[J]. Food Science, 2019, 40(8): 87-93.
- [16] 廖丽, 毛晓云, 王秋蓉, 等. 不同酿酒酵母对脆红李果酒品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(20): 127-134.
- LIAO L, MAO X Y, WANG Q R, et al. Effects of different winemaking yeasts on the quality of plum wine[J]. Food and Fermentation Industries, 2020, 46(20): 127-134.
- [17] 刘士伟, 刘胜楠, 米倩雯, 等. 植物乳杆菌发酵人参中活性成分改变及抗氧化作用[J]. 食品科学, 2023, 44(20): 252-259.
- LIU S W, LIU S N, MI Q W, et al. Alteration of active ingredients and antioxidant effects in ginseng fermented with *Lactobacillus plantarum*[J]. Food Science, 2023, 44(20): 252-259.
- [18] 魏劲松. 葛根酒发酵工艺及品质分析研究[D]. 成都: 西华大学, 2019.
- WEI J S. Research on fermentation process and quality analysis of *Pueraria lobata* wine[D]. Chengdu: Xihua University, 2019.
- [19] WEI J P, ZHANG Y X, QIU Y, et al. Chemical composition, sensorial properties, and aroma-active compounds of ciders fermented with *Hanseniaspora osmophila* and *Torulaspota quercuum* in co- and sequential fermentations [J]. Food Chemistry, 2020, 306: 125623.
- [20] 王思溥, 朱丹, 牛广财, 等. 黑果腺肋花楸酵素自然发酵过程中主要成分与抗氧化活性变化[J]. 食品工业科技, 2023, 44(15): 93-100.
- WANG S P, ZHU D, NIU G C, et al. Changes of main components and antioxidant activity during natural fermentation of rowan enzyme[J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(15): 93-100.
- [21] 李江, 顾逸菲, 王珍珍, 等. 霍山石斛酵素发酵过程中抗氧化性能的变化[J]. 中国食品学报, 2023, 23(3): 80-89.
- LI J, GU Y F, WANG Z Z, et al. Changes of antioxidant properties during fermentation of *Dendrobium huoshanense* enzyme[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2023, 23(3): 80-89.
- [22] 张宏志, 马艳弘, 刘小莉, 等. 复合乳酸菌发酵蓝莓黑莓混合汁过程中的品质变化[J]. 现代食品科技, 2019, 35(10): 85-91, 212.
- ZHANG H Z, MA Y H, LIU X L, et al. Quality changes during fermentation of blueberry-blackberry blended juice by lactic acid bacteria complex [J]. Modern Food Science and Technology, 2019, 35(10): 85-91, 212.
- [23] 章佳玫, 吴祖芳, 翁佩芳. 乳酸菌发酵接骨木果汁品质及挥发性风味物质的变化[J]. 中国食品学报, 2022, 22(5): 291-299.
- ZHANG J M, WU Z F, WENG P F. Changes in quality and volatile flavour substances of elderberry juice fermented by lactic acid bacteria[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2022, 22(5): 291-299.
- [24] WU G, FAN G J, ZHOU J Z, et al. Structure and main polyphenols in the haze of blackberry wine[J]. LWT, 2021, 149: 111821.
- [25] 王梦洋. 柿子醋发酵过程中微生物分析及其生物强化[D]. 洛阳: 河南科技大学, 2022.
- WANG M Y. Microbiological analysis of persimmon vinegar during fermentation and its biofortification[D]. Luoyang: Henan University of Science and Technology, 2022.
- [26] 张秀玲, 汲润, 李凤凤, 等. 发酵工艺对蓝靛果酒功能性及香气成分的影响[J]. 食品科学, 2022, 43(10): 189-198.
- ZHANG X L, JI R, LI F F, et al. Effect of fermentation process on functionality and aroma composition of indigo fruit wine[J]. Food Science, 2022, 43(10): 189-198.
- [27] 周佳悦, 夏晓雨, 候艳丽, 等. 不同发酵方式蓝莓果酒发酵过程中理化指标和抗氧化能力的动态变化[J]. 中国酿造, 2023, 42(5): 132-138.
- ZHOU J Y, XIA X Y, HOU Y L, et al. Dynamic changes of physicochemical indexes and antioxidant capacity during fermentation of blueberry fruit wines with different fermentation methods[J]. China Brewing, 2023, 42(5): 132-138.
- [28] 王楠, 徐巧红, 高颖瑞, 等. 党参黄酒的酿造工艺优化及体外抗氧化活性研究[J]. 中国酿造, 2023, 42(6): 178-185.
- WANG N, XU Q H, GAO Y R, et al. Optimisation of brewing process and *in vitro* antioxidant activity of *Codonopsis* yellow wine[J]. China Brewing, 2023, 42(6): 178-185.
- [29] TARKO T, KOSTRZ M, DUDA-CHODAK A, et al. The effect of apple cultivars and yeast strains on selected quality parameters and antioxidant activity

- of fermented apple beverages [J]. *CyTA –Journal of Food*, 2018, 16(1): 892–900.
- [30] 陈江魁, 殷春燕, 张献忠, 等. 混合酵母发酵对皇冠梨酒酚类、抗氧化性和风味物质的影响[J]. *食品科学*, 2023, 44(20): 343–349.
- CHEN J K, YIN C Y, ZHANG X Z, et al. Effects of mixed yeast fermentation on phenolic, antioxidant and flavour substances of crown pear wine[J]. *Food Science*, 2023, 44(20): 343–349.
- [31] CHEN Y, HUANG Y, BAI Y, et al. Effects of mixed cultures of *Saccharomyces cerevisiae* and *Lactobacillus plantarum* in alcoholic fermentation on the physicochemical and sensory properties of citrus vinegar[J]. *LWT*, 2017, 84: 753–763.
- [32] TARKO T, JANUSZEK M, PATER A, et al. The quality of ciders depends on the must supplementation with mineral salts[J]. *Molecules*, 2020, 25(16): 3640.
- [33] LI H C, HUANG J T, WANG Y Q, et al. Study on the nutritional characteristics and antioxidant activity of dealcoholized sequentially fermented apple juice with *Saccharomyces cerevisiae* and *Lactobacillus plantarum* fermentation[J]. *Food Chemistry*, 2021, 363: 130351.
- [34] 吴彩云, 张晓荣, 徐怀德, 等. 益生菌发酵果蔬汁生物活性成分及功能特性研究进展[J]. *中国食品学报*, 2021, 21(12): 323–334.
- WU C Y, ZHANG X R, XU H D, et al. Progress of bioactive components and functional properties of probiotic fermented fruit and vegetable juices [J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2021, 21(12): 323–334.
- [35] XU X X, BAO Y J, WU B B, et al. Chemical analysis and flavor properties of blended orange, carrot, apple and Chinese jujube juice fermented by selenium –enriched probiotics [J]. *Food Chemistry*, 2019, 289: 250–258.
- [36] 王菁, 赵璐, 肖世娣, 等. 不同工艺制作欧李果酒的品质比较[J]. *食品工业科技*, 2019, 40(14): 42–48, 55.
- WANG J, ZHAO L, XIAO S D, et al. Comparison of the quality of different processes for making *Olea europaea* fruit wine [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2019, 40(14): 42–48, 55.
- [37] 何琼. 无花果酒陈酿过程的品质变化及微波催陈研究[D]. 雅安: 四川农业大学, 2022.
- HE Q. Quality change of fig wine aging process and microwave aging research[D]. Ya'an: Sichuan Agricultural University, 2022.
- [38] 谢兆华, 李洪军, 王琴, 等. 不同食用油制备酥肉挥发性风味物质的差异性分析[J/OL]. *食品与发酵工业*:1–11 (2023–04–21)[2023–07–02]. <https://link.cnki.net/doi/10.13995/j.cnki.11–1802/ts.035037>.
- XIE Z H, LI H J, WANG Q, et al. Differential analysis of volatile flavour substances in crispy meat prepared with different edible oils[J/OL]. *Food and Fermentation Industry*:1–11 (2023–04–21)[2023–07–02]. <https://link.cnki.net/doi/10.13995/j.cnki.11–1802/ts.035037>.
- [39] 魏骊霏, 高振正, 蔡啸宇, 等. 1–MCP处理结合低温贮藏对香梨果实挥发性成分的影响[J]. *现代食品科技*, 2023, 39(12): 246–252.
- WEI L F, GAO Z Z, CAI X Y, et al. Effect of 1–MCP treatment combined with low temperature storage on volatile constituents of balsam pear fruit [J]. *Modern Food Science and Technology*, 2023, 39(12): 246–252.
- [40] 马宁原, 姚凌云, 孙敏, 等. 基于GC–IMS和GC–MS分析不同发酵方式对黄桃酒香气成分的影响[J]. *食品科学*, 2023, 44(12): 306–314.
- MA N Y, YAO L Y, SUN M, et al. Effects of different fermentation methods on the aroma composition of yellow peach wine based on GC–IMS and GC–MS[J]. *Food Science*, 2023, 44(12): 306–314.

### Effects of Fermentation Methods on the Quality and Aroma Composition of Young Apple Fruit Wines

AN Qi<sup>1</sup>, ZHANG Xia<sup>1</sup>, GUO Yuqi<sup>1</sup>, MA Yanhong<sup>1,2</sup>, WANG Xiang<sup>3</sup>, WANG Yu<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>College of Food Science and Engineering, Shanxi Agricultural University, Jinzhong 030801, Shanxi

<sup>2</sup>Institute of Agro–Products Processing, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014

<sup>3</sup>Jinzhong National Agricultural Hi–tech Industries Demonstration Zone, Jinzhong 030800, Shanxi

**Abstract** Young apple fruit wines were fermented with *Saccharomyces cerevisiae* and *Lactobacillus plantarum* in five ways: simultaneous inoculation fermentation (HF), sequential fermentation 1 (SX-1), sequential fermentation 2 (SX-2), single strain fermentation (SY) and natural fermentation (NF), in order to study the changes in reducing sugars, alcohol content, polyphenols, flavonoids and antioxidant capacity during the fermentation process, as well as to carry out organoleptic evaluations. The volatile flavor substances of five groups of fruit wines were determined using headspace solid phase microextraction combined with gas chromatography-mass spectrometry (HS-SPME-GC-MS) technology. The results showed that during the fermentation process, the reducing sugar content of the five groups of fruit wines decreased and then stabilised; the alcohol content increased and then stabilised; and the polyphenols, flavonoids and antioxidant capacity increased and then decreased. A total of 76 aroma components were detected in the five groups of fruit wines, including 18 alcohols, 30 esters, 5 acids, 6 ketones and 2 aldehydes. Natural fermentation has the least amount of flavor substances, mixed-bacteria fermentation has the most, followed by single-strain fermentation. Natural fermentation is dominated by alcohols (58.53%), esters (18.61%) and acids (12.64%), and inoculated fermentation is dominated by alcohols (63.21%–68.81%) and esters (26.29%–28.56%). Compared to natural fermentation, inoculated fermented fruit wines are full-bodied and have higher sensory scores, and it contains more esters and alcohols. Conclusion: the HF group had the strongest ability to consume reducing sugars during fermentation, the highest polyphenol [(785.89±9.37) μg/mL] and flavonoid [(317.96±8.75) μg/mL] contents, as well as showing strong antioxidant capacity (85.06%–92.12%), and the HF group had the highest sensory scores (90.05 points) and richer volatile flavor substances.

**Keywords** young apple; wine; quality; antioxidant; volatile organic compounds