

百香果全果与果汁发酵酒滋味成分及香气成分对比

Comparison of taste and aroma components between whole passion fruit and fruit juice fermented wine

胡来丽¹ 秦礼康¹ 王玉珠²

HU Lai-li¹ QIN Li-kang¹ WANG Yu-zhu²

(1. 贵州大学, 贵州 贵阳 520025; 2. 贵州省山地资源研究所, 贵州 贵阳 520025)

(1. Guizhou University, Guiyang, Guizhou 520025, China; 2. Guizhou Provincial Mountain Resources Research Institute, Guiyang, Guizhou 520025, China)

摘要:目的:提升百香果酒品质。方法:以百香果全果和果汁为原料酿制百香果酒,分别测定其有机酸、氨基酸和挥发性化合物含量,并结合电子舌试验结果评价百香果酒风味成分。结果:2种百香果发酵酒中主要有有机酸为酒石酸、柠檬酸、乳酸和苹果酸,但全果酒的前3种有机酸含量均显著高于果汁酒中的($P < 0.05$),全果酒和果汁酒中含量最多的有机酸分别为酒石酸(27.20 mg/mL)和柠檬酸(12.49 mg/mL);除半胱氨酸未检出外,全果酒和果汁酒中16种游离氨基酸总含量分别为88.16, 68.88 mg/100 g,且全果酒中4类呈味氨基酸含量高于果汁酒;电子舌测试发现,2种百香果发酵酒中咸味信号强度差异性最大,且全果酒中的鲜味、咸味最强,酸味、涩味和甜味最弱;HS-SPME-GC-MS共检出179种香气成分,全果酒中挥发性风味化合物种类比果汁酒多4种,但其萜烯类物质含量和种类分别比果汁酒的多1.3倍。结论:相比于果汁酒,新型百香果全果酒整体风味(鲜味、咸味、萜烯类物质等)较突出,提升了百香果资源的综合利用度。

关键词:百香果;全果酒;果汁酒;滋味成分;挥发性化合物

Abstract: **Objective:** This study aimed to promote the quality of passion fruit wine. **Methods:** Passion fruit wine was brewed with whole passion fruit and juice as raw materials, and the contents of organic acids, amino acids and volatile compounds were measured respectively.

Then the flavor components of passion fruit wine were evaluated by combining the results of electronic tongue test. **Results:** The main organic acids in the two fermented passion fruit wines were tartaric acid, citric acid, lactic acid and malic acid, while the content of the first three organic acids in whole fruit wine was significantly higher than that in fruit wine ($P < 0.05$). The most organic acids in whole fruit wine and fruit juice wine were respectively tartaric acid (27.20 mg/mL) and citric acid (12.49 mg/mL). Except for the undetected cysteine, the total content of 16 free amino acids in whole fruit wine and fruit juice wine were 88.16 and 68.88 mg/100 g respectively, and the content of four types of flavored amino acids in the whole fruit wine was higher than that in the fruit wine. The electronic tongue test found that the salty signal strength of the two fermented passion fruit wines had the largest difference, and the umami and salty tastes were the strongest in the whole fruit wine, with the sourness, astringency and sweetness weakest. A total of 179 kinds of aroma components were detected by HS-SPME-GC-MS. The types of volatile flavor compounds in whole fruit wine were 4, and which was more than those in fruit wine. However, the content and types of terpenes were respectively 1 and 3 times more than those in fruit wine. **Conclusion:** Compared with fruit juice wine, the overall flavor (umami, salty, terpenoids, etc.) of the new passion fruit wine was more prominent, which improved the comprehensive utilization of passion fruit resources.

Keywords: passion fruit; whole fruit wine; juice wine; taste ingredients; volatile components

基金项目:贵州省科技支撑重点项目(编号:黔科合NZ[2015]3001-5)

作者简介:胡来丽,女,贵州大学在读硕士研究生。

通信作者:王玉珠(1966—),女,贵州省山地资源研究所副教授。

E-mail: 41017764@qq.com

收稿日期:2021-09-02

百香果(*Passiflora edulis* Sims),又名西番莲,为西番莲科西番莲属多年生木质藤本植物,其果实富含黄酮、

多酚、有机酸、维生素 C 等活性和营养成分^[1],具有降血糖^[2]、抗抑郁^[3]、抗焦虑^[4]等医药功能,有“果汁之王”之美誉^[5]。

杨玉霞等^[6]、程昊等^[7]分别以百香果全果和果汁为原料发酵果酒,并确定了最佳酿造工艺;程宏帧等^[8]评价了百香果全果发酵酒、百香果果汁酒和原汁的抗氧化活性差异,其大小顺序为全果酒>果汁酒>原果汁;刘晓静等^[9-10]利用 GC-MS 技术鉴定出百香果果汁酒的香气成分分别为 10,25 种;程宏帧等^[11]采用 HS-SPME-GC-MS 技术鉴定出紫皮百香果全果发酵酒的香气成分为 39 种。综上,对百香果发酵酒酿造工艺优化和抗氧化活性分析虽有研究,但对百香果全果和果汁发酵酒香气及滋味成分进行系统的对比分析尚未见报道,而香气和滋味成分作为评价果酒品质优劣的重要指标,对产品标准化生产尤具指导意义。

课题组拟选取生态优良的黔产紫皮百香果为原料,以全果酒和果汁酒为研究对象,在对比两者香气成分的基础上,重点剖析其滋味成分的差异,以期百香果酒品质提升与标准化生产提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

紫色百香果:紫香 1 号,试验前于-20℃冰箱低温冷藏,贵州省傲天农业科技有限公司;

原果汁、果汁酒、全果酒:实验室自制。

1.2 主要试剂

焦亚硫酸钾、小苏打、白砂糖:市售;

葡萄酒活性干酵母 RV818:安琪酵母股份有限公司;

氢氧化钠、酒石酸、柠檬酸、乳酸、苹果酸、甲醇、磷酸二氢钾、磺基水杨酸等均为国产分析纯。

1.3 仪器与设备

高效液相色谱仪:1200 Infinity 型,美国安捷伦公司;

氨基酸自动分析仪:L-8800 型,日立公司;

烘箱:GX-45B 型,天津市泰斯特仪器有限公司;

电子舌味觉分析系统:TS-500Z 型,日本 Insent 公司;

生化培养箱:1708179 型,天津市泰斯特仪器有限公司;

超声波清洗机:16C139 型,宁波新芝生物科技股份有限公司;

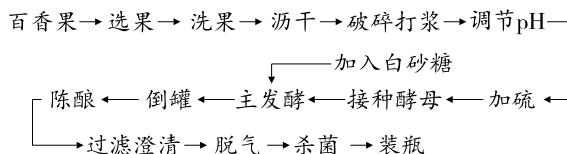
台式高速冷冻离心机:H2-16KR 型,湖南可成仪器设备有限公司;

艾柯实验室超纯水机:AKDL-II-1 型,天津市泰斯特仪器有限责任公司;

气相-高通量高分辨质谱联用仪:Pegasus HRT 4D Plus 型,美国 LECO 公司。

1.4 试验方法

1.4.1 百香果酒制作工艺



(1) 原料预处理:将百香果清洗干净,沥干后皮肉分离,用 160 目滤布过滤去籽,收集百香果原果汁,备用;将百香果皮切成小块,破碎打浆,备用。

(2) 调 pH:用小苏打将百香果汁的 pH 值调为 3.5 左右。

(3) 加硫:添加焦亚硫酸钾(100 mg/L),防止微生物污染,保证发酵顺利进行。

(4) 酵母活化:向 38℃ 温水中加入 5% 白砂糖,加入干酵母 RV818 水浴活化 25 min。

(5) 主发酵:全果酒发酵液为原果汁加果皮浆,果汁酒发酵液为原果汁加无菌水,两者皆以料液比 1:1 (g/mL) 填料,接种 0.1% 酵母,初始糖度调为 21%,使用单向阀排气,29℃ 恒温培养箱中密封发酵 1 周。

(6) 陈酿:倒罐后于 4℃ 冰箱静置发酵 2 个月。

(7) 过滤澄清:8 000 r/min 离心 5 min,收集澄清酒液于储酒罐中。

(8) 脱气杀菌:储酒罐于 80℃ 水浴脱气 10 min;采用巴氏杀菌法,将储酒罐于 65℃ 杀菌 30 min,待冷却后过滤膜精滤,使酒液澄清透明,装瓶待测。

1.4.2 有机酸测定 参照朱晓丽等^[12]的方法。

1.4.3 总游离氨基酸分析 参照 Wen 等^[13]的方法,样品前处理后立即注入仪器内分析。

1.4.4 电子舌分析 参照于博等^[14]的方法,以百香果原果汁为对照组,对不同果酒发酵样品的 6 种味觉进行分析。

1.4.5 挥发性风味成分测定 根据 Guo 等^[15]的方法。

1.4.6 数据处理 采用 SPSS 26.0 软件对试验数据进行显著性分析,采用 Origin 2018 软件绘图,所有试验重复 3 次, $P<0.05$ 表示差异显著。

2 结果与分析

2.1 滋味成分

2.1.1 有机酸 由表 1 可知,原果汁中,有机酸以柠檬酸含量最高(34.25 mg/mL),属柠檬酸优势型,与潘威等^[16]的研究结果一致;其次为酒石酸(5.71 mg/mL),乳酸含量最低(1.31 mg/mL)。2 种百香果发酵酒中有机酸含量变化较大,除苹果酸含量差异不显著外,其余 3 种有机酸存在显著差异($P<0.05$),且全果酒和果汁酒中含量最多的分别为酒石酸(27.20 mg/mL)和柠檬酸(12.49 mg/mL)。全果酒中,酒石酸含量相比于原果汁增加了 3.7 倍,乳酸

表 1 百香果发酵酒中有机酸含量[†]

Table 1 Organic acid content of passion fruit wine

mg/mL			
化合物	原果汁	果汁酒	全果酒
酒石酸	5.71±0.03 ^b	1.37±0.13 ^c	27.20±0.70 ^a
柠檬酸	34.25±0.25 ^a	12.49±0.02 ^c	14.07±0.95 ^b
乳酸	1.31±0.07 ^c	5.62±0.05 ^b	9.40±0.03 ^a
苹果酸	5.97±0.04 ^a	2.25±0.01 ^b	2.12±0.05 ^b
合计	47.24±0.15 ^b	21.74±0.14 ^c	52.80±0.34 ^a

[†] 字母不同表示差异显著($P<0.05$)。

含量增加了 6.2 倍,而柠檬酸和苹果酸含量均下降了 60%,说明 1 L 酒样中约减少 20 g 柠檬酸,其具体原因有待进一步研究。果汁酒中,酒石酸、柠檬酸和苹果酸含量相比于原果汁分别下降了 80%,60%,60%,但乳酸含量增加了 3.3 倍。两种发酵酒中,苹果酸和柠檬酸含量皆有所下降,而乳酸含量增加,是因为苹果酸在酒精发酵过程中被转化成酒精或生成可改善果酒感官特征的乳酸,此过程可降低酒体酸度^[17]。乳酸是酵母酒精发酵过程中的主要羧酸,是发酵食品中的象征性酸,具有温和的酸味,为百香果酒成为酸奶制品的添加成分奠定了基础^[9]。全果酒中酒石酸含量是果汁酒的 19.9 倍,而饮食酒石酸有助于防止尿液中草酸钙结石的复发,预防复发性肾结石^[18]。

2.1.2 游离氨基酸 由表 2 可知,原果汁、全果酒和果汁酒中共检出 17 种游离氨基酸,原果汁和全果酒中均检测到 16 种,而果汁酒中只检测到 12 种,3 个样品中总游离氨基酸含量为 68.88~406.26 mg/100 g,7 种必需氨基酸含量为 5.85~28.05 mg/100 g。2 种果酒中的总游离氨基酸和必需氨基酸含量皆高于果汁酒。原果汁中,除 Arg 外其他氨基酸均有检出,而发酵后的果酒中均未检出 Cys,可能是由于发酵过程中产生某种转换或是由于检测条件未达到要求所致^[19]。3 个样品中各氨基酸含量差异显著($P<0.05$),其中 Pro 在各样品中含量最高,其次是 Ala。根据人体必需氨基酸含量模式谱,FAO/WHO 规定 EAA/TFAA 比值为 40%,而百香果中 EAA/TFAA 比值为 7%~16%,不符合该模式,且与刘文静等^[20]的研究结果不一致,可能是 Pro 比例较高(原果汁高于 38.04%,全果酒和果汁酒分别高于 68.23%,79.73%),从而影响了 EAA/TFAA 比值,但 Pro 除了作为渗透调节的渗透剂外,还有助于稳定亚细胞结构(如膜和蛋白质)、清除自由基和缓冲应激条件下的细胞氧化还原电位^[21]。发酵后全果酒 EAA/TFAA 比值(0.16)均显著高于原果汁(0.07)和果汁酒(0.09),说明全果酒中必需氨基酸含量相对较高。

表 2 百香果发酵酒中游离氨基酸含量[†]

Table 2 Results of determination of free amino acid content of passion fruit before and after fermentation

mg/100 g			
游离氨基酸	原果汁	果汁酒	全果酒
Asp	99.58±5.10 ^a	0.23±0.01 ^b	0.83±0.07 ^b
Glu	18.29±1.24 ^a	1.55±0.07 ^c	3.61±0.18 ^b
Thr [*]	1.53±0.08 ^a	—	0.41±0.03 ^b
Ser	56.27±2.89 ^a	—	0.30±0.02 ^b
Gly	5.00±0.27 ^a	1.20±0.08 ^b	2.53±0.18 ^c
Ala	25.12±1.24 ^a	2.90±0.15 ^c	4.65±0.36 ^b
Pro	154.56±7.18 ^a	54.92±2.55 ^b	60.15±3.19 ^b
Val [*]	0.68±0.04 ^b	0.37±0.27 ^c	3.71±0.20 ^a
Met [*]	3.65±0.29 ^a	—	2.11±0.12 ^b
Ile [*]	6.48±0.53 ^a	—	1.74±0.10 ^b
Leu [*]	2.42±0.13 ^c	4.22±0.28 ^a	3.46±0.19 ^b
Phe [*]	3.78±0.16 ^a	0.82±0.02 ^c	1.40±0.07 ^b
His	4.31±0.15 ^a	0.23±0.01 ^b	0.32±0.01 ^b
Tyr	8.40±0.45 ^a	0.73±0.01 ^b	0.74±0.02 ^b
Arg	—	1.27±0.09 ^a	0.91±0.01 ^b
Cys	6.67±0.39 ^a	—	—
Lys [*]	9.52±0.53 ^a	0.61±0.01 ^c	1.29±0.10 ^b
EAA	28.05±0.82 ^a	5.85±0.29 ^c	14.13±0.22 ^b
TEAA	406.26±13.04 ^a	68.88±2.63 ^c	88.16±3.03 ^b
EAA/TEAA	0.07±0.00 ^c	0.09±0.01 ^b	0.16±0.01 ^a

[†] * 为必需氨基酸,TFAA 为游离氨基酸总量,EAA 为必需氨基酸总量;字母不同表示差异显著($P<0.05$);“—”表示未检出或检出限太低。

根据游离态氨基酸的呈味特征,其大致分为鲜味氨基酸(Glu、Asp)、甜味氨基酸(Thr、Gly、Ala、Pro、Ser)、苦味氨基酸(His、Met、Arg、Val、Leu、Ile、Tyr、Phe)、无味氨基酸(Lys、Cys)。由表 3 可知,3 个样品中鲜味氨基酸、甜味氨基酸、苦味氨基酸和无味氨基酸含量分别占总呈味氨基酸含量的 22.04%,65.64%,9.11%,3.21%。鲜味氨基酸中,Glu 和 Asp 具有亲水性,既不影响其他味觉,又增强彼此风味特征,在酒类增味方面效果良好^[22]。甜味氨基酸可增加百香果的甜味,赋予其更好的口感,且与人体健康密切相关^[23];无味氨基酸在各样品中占比最低,但可通过味觉受体到大脑信号的传递,使其余呈味氨基酸味觉感受强度更突出^[24]。总体而言,全果酒呈味氨基酸含量均大于果汁酒,表明全果酒整体呈味效果更好。

2.1.3 电子舌分析 由图 1 可知,全果酒和果汁酒的咸味差异性最大,其次是酸味;且全果酒鲜味和咸味最强,酸味、涩味和甜味最弱,是因为鲜味是由某些氨基酸引起的,提供有关氨基酸存在的信息^[25],与氨基酸检测结果相

表 3 百香果发酵酒中呈味氨基酸含量[†]

Table 3 Amino acid content of passion fruit before and after fermentation mg/100 g

游离氨基酸	原果汁	果汁酒	全果酒
鲜味氨基酸	117.87±5.93 ^a	1.78±0.08 ^b	4.44±0.21 ^b
甜味氨基酸	242.48±8.36 ^a	59.02±2.48 ^c	68.04±3.11 ^b
苦味氨基酸	29.72±0.62 ^a	7.47±0.22 ^c	14.39±0.14 ^b
无味氨基酸	16.19±0.91 ^a	0.61±0.01 ^b	1.29±0.10 ^b

[†] 字母不同表示差异显著($P<0.05$)。

呼应,也与氨基酸的呈味特征一致,而且酸味指标也符合有机酸的测定结果。Wang 等^[26]发现鲜味作为食物中蛋白质含量的潜在指标,有助于食物的适口性,从而促进食物的选择和摄入。

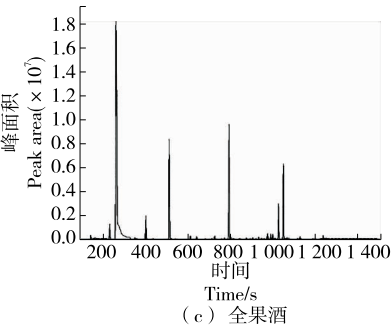
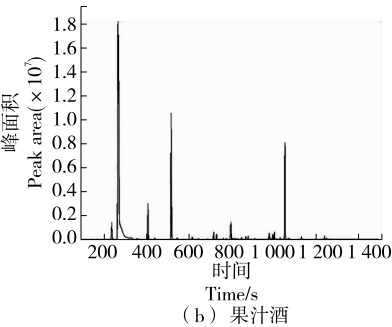
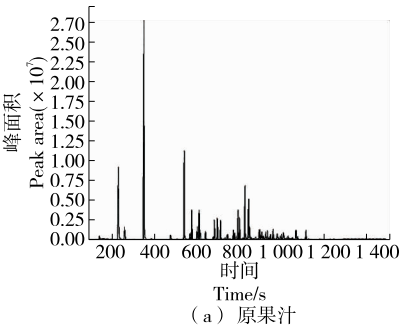


图 2 百香果发酵酒中风味物质 GC-MS 分析总离子流色谱图

Figure 2 Total ion current chromatograms of GC-MS analysis of flavor substances in passion fruit before and after fermentation

表 4 百香果发酵酒中挥发性物质的 HS-SPME-GC-MS 鉴定结果[†]

Table 4 HS-SPME-GC-MS identification results of volatile substances in passion fruit fermented wine

种类	挥发性成分	保留时间/min	含量/($\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)		
			原果汁	果汁酒	全果酒
酯类	乙酸甲酯	3.40	—	—	5.65±0.12 ^a
	乙酸乙酯	3.90	288.06±1.39 ^c	880.37±16.12 ^a	672.34±10.70 ^b
	丙酸乙酯	4.75	5.63±0.10 ^a	—	—
	丁酸甲酯	5.15	3.05±0.12 ^a	—	—
	乙酸异丁酯	5.54	—	36.96±2.41 ^a	—
	丁酸乙酯	5.91	3 137.38±21.56 ^a	77.21±0.73 ^b	32.06±1.11 ^c
	2-甲基丁酸乙酯	6.14	1.87±0.01 ^a	1.20±0.15 ^b	—
	乙酸丁酯	6.48	26.67±0.14 ^a	—	—
	乙酸异戊酯	7.30	5.32±0.11 ^c	133.36±0.81 ^a	57.10±1.05 ^b
	巴豆酸乙酯	8.00	95.52±0.87 ^a	—	—
	丁酸丁酯	8.83	16.56±0.28 ^a	—	—
	正己酸乙酯	9.07	1 395.52±6.06 ^a	165.38±1.19 ^b	41.53±0.57 ^c
	1-甲基乙酸己酯	9.51	85.61±1.45 ^a	—	—
	乙酸己酯	9.66	413.58±0.34 ^a	36.46±0.40 ^b	14.25±0.45 ^c
	3-己烯酸乙酯	10.09	205.40±7.28 ^a	—	5.91±0.14 ^b
	乙酸叶醇酯	10.32	157.29±10.99 ^a	15.31±0.32 ^b	—

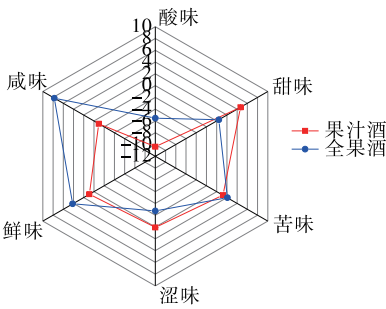


图 1 百香果发酵酒味感雷达图

Figure 1 Radar chart of passion fruit fermented wine taste

2.2 挥发性化合物

百香果发酵酒的 GC-MS 分析总离子流色谱图如图 2 所示,其 HS-SPME-GC-MS 鉴定结果见表 4。

续表 4

种类	挥发性成分	保留时间/min	含量/($\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)		
			原果汁	果汁酒	全果酒
	<i>L</i> (-)-乳酸乙酯	10.68	—	36.25 $\pm$ 0.42 ^a	25.29 $\pm$ 1.12 ^b
	<i>E</i> -2-己酸乙酯	10.74	123.16 $\pm$ 3.19 ^a	—	—
	乙酸庚酯	11.11	1.84 $\pm$ 0.04 ^a	—	—
	1-甲基丁酸己酯	11.44	262.07 $\pm$ 2.49 ^a	—	—
	己酸丁酯	11.64	—	—	3.43 $\pm$ 0.29 ^a
	丁酸己酯	11.68	266.80 $\pm$ 1.70 ^a	30.43 $\pm$ 1.51 ^b	—
	辛酸乙酯	11.93	295.34 $\pm$ 0.56 ^b	465.95 $\pm$ 2.65 ^a	77.10 $\pm$ 1.00 ^c
	顺-3-己烯基丁酯	12.28	34.83 $\pm$ 1.69 ^a	—	—
	顺式-4-辛烯酸乙酯	12.44	76.25 $\pm$ 0.99 ^a	—	—
	醋酸-2-乙基己酯	12.45	32.61 $\pm$ 0.49 ^a	—	—
	7-辛烯酸乙酯	12.49	—	10.01 $\pm$ 0.88 ^a	—
	3-羟基丁酸乙酯	13.02	94.16 $\pm$ 0.56 ^a	30.56 $\pm$ 0.54 ^b	26.61 $\pm$ 0.57 ^c
	3-甲硫基丙酸乙酯	13.69	—	21.48 $\pm$ 0.80 ^a	14.62 $\pm$ 0.52 ^b
	<i>DL</i> -3-乙酰氧基丁酸乙酯	13.75	11.81 $\pm$ 0.26 ^a	—	—
	1-甲基己酸己酯	13.83	643.81 $\pm$ 0.86 ^a	61.48 $\pm$ 0.47 ^b	10.53 $\pm$ 0.52 ^c
	1-甲基丁酸辛酯	13.92	33.53 $\pm$ 0.55 ^a	—	—
	己酸己酯	14.12	493.94 $\pm$ 2.92 ^a	126.27 $\pm$ 1.29 ^b	30.77 $\pm$ 1.14 ^c
	3-甲基六氢邻苯二甲酸酯	14.14	—	—	7.45 $\pm$ 0.98 ^a
	癸酸乙酯	14.45	—	188.45 $\pm$ 0.95 ^a	34.44 $\pm$ 0.95 ^b
	丁二酸二乙酯	14.91	—	9.18 $\pm$ 0.11 ^a	7.19 $\pm$ 0.18 ^b
	苯甲酸乙酯	14.94	2.38 $\pm$ 0.32 ^c	3.55 $\pm$ 0.40 ^b	11.92 $\pm$ 0.79 ^a
酯类	3-羟基己酸乙酯	14.95	162.78 $\pm$ 5.97 ^a	27.27 $\pm$ 0.50 ^b	26.81 $\pm$ 1.58 ^b
	异丁酸乙酯	15.02	125.41 $\pm$ 1.43 ^a	25.77 $\pm$ 0.48 ^b	—
	γ -己内酯	15.42	5.59 $\pm$ 0.50 ^a	—	—
	乙酸苯酯	15.61	128.05 $\pm$ 1.49 ^b	74.25 $\pm$ 1.10 ^a	129.22 $\pm$ 1.05 ^a
	辛酸庚酯	16.05	—	38.74 $\pm$ 1.53 ^a	—
	水杨酸甲酯	16.23	15.85 $\pm$ 2.07 ^c	44.13 $\pm$ 0.82 ^b	55.98 $\pm$ 2.02 ^a
	(<i>Z</i>)-3,7-二甲基-2,6-辛二烯-1-醇乙酸酯	16.25	—	—	4.24 $\pm$ 0.44 ^a
	(2-甲基)3,7-二甲基-6-辛烯丙酸酯	16.26	17.41 $\pm$ 0.50 ^a	—	—
	4-羟基丁酸乙酯	16.30	—	384.59 $\pm$ 2.17 ^a	232.17 $\pm$ 2.46 ^b
	辛酸己酯	16.37	73.63 $\pm$ 3.08 ^a	—	—
	乙酸苯乙酯	16.56	9.01 $\pm$ 0.08 ^c	259.88 $\pm$ 1.67 ^a	211.31 $\pm$ 7.49 ^b
	月桂酸乙酯	16.71	—	407.84 $\pm$ 1.19 ^a	206.88 $\pm$ 2.24 ^b
	丁酸苯酯	17.11	10.52 $\pm$ 0.65 ^a	—	—
	乙酸 2-苯乙基酯	17.58	—	—	16.93 $\pm$ 0.99 ^a
	<i>DL</i> -苹果酸二乙酯	17.77	1.57 $\pm$ 0.11 ^a	—	—
	肉豆蔻酸异丙酯	18.64	—	5.17 $\pm$ 0.24 ^a	—
	十四酸乙酯	18.77	—	8.29 $\pm$ 0.20 ^a	—
	肉桂酸乙酯	19.73	7.80 $\pm$ 0.35 ^a	—	—
	顺式肉桂酸乙酯	19.74	—	7.56 $\pm$ 0.39 ^a	—
	丙位癸内酯	19.89	2.35 $\pm$ 0.31 ^a	—	—

续表 4

种类	挥发性成分	保留时 间/min	含量/($\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)		
			原果汁	果汁酒	全果酒
酯类	棕榈酸乙酯	20.66	—	239.78±15.67 ^a	171.71±10.08 ^b
	丁二酸单乙酯	21.79	—	8.76±0.58 ^a	3.25±0.20 ^b
	7,10-十六烯二烯酸甲酯	23.23	—	—	7.72±0.23 ^a
	邻苯二甲酸二异丁酯	23.50	3.33±0.22 ^a	—	—
醇类	乙醇	26.40	195.65±2.37 ^c	10 574.40±6.42 ^a	7 855.41±4.34 ^b
	新戊二醇	33.23	—	—	9.14±0.07 ^a
	正丙醇	35.29	—	30.27±1.51 ^b	68.60±0.22 ^a
	异丁醇	40.52	—	1 734.38±4.72 ^a	403.85±1.17 ^b
	正丁醇	45.44	1.44±0.12 ^c	3.63±0.07 ^b	6.01±0.15 ^a
	异戊醇	51.43	3.55±0.13 ^c	4 057.62±7.76 ^a	3 716.59±1.85 ^b
	桉叶油醇	51.96	4.75±0.13 ^a	—	—
	2-庚醇	61.48	418.56±9.59 ^a	148.92±2.01 ^b	139.12±0.60 ^b
	正己醇	64.42	—	81.68±0.76 ^b	114.02±0.60 ^a
	叶醇	67.24	—	—	15.35±0.33 ^a
	反式-3-己烯醇	67.24	10.59±1.23 ^a	—	—
	正庚醇	72.72	10.31±0.83 ^a	—	—
	环戊烯-3-甲醇	73.28	—	10.68±1.24 ^b	19.71±1.63 ^a
	6-甲基-5-庚烯-2-醇	73.33	12.66±0.90 ^a	—	—
	2-壬基醇	77.53	144.32±1.63 ^a	58.21±0.80 ^b	56.92±0.77 ^b
	2,3-丁二醇	79.32	—	128.27±4.34 ^a	83.32±1.49 ^b
	芳樟醇	79.75	393.67±3.97 ^a	233.68±2.84 ^b	227.88±1.66 ^b
	辛醇	80.49	281.87±2.38 ^a	93.66±1.43 ^c	100.99±2.17 ^b
	2,3,4-三甲基-5-己烯-3-醇	81.03	6.07±0.96 ^a	—	—
	(2S,3S)-(+) -2,3-丁二醇	81.92	—	68.82±0.28 ^a	29.30±0.74 ^b
	4-萜烯醇	84.48	—	—	23.47±0.73 ^a
	2-甲基-5-异丙基-二环[3.1.0]己烷-2-醇	84.48	90.44±0.71 ^a	—	—
	α -松油醇	90.93	83.87±1.90 ^a	0.20±0.02 ^c	73.01±0.86 ^b
	2-十一醇	91.75	44.63±0.64 ^a	29.46±0.73 ^b	23.08±0.51 ^b
	3-(甲硫基)-1-丙醇	92.40	—	—	23.20±1.66 ^a
	香茅醇	95.01	52.85±1.62 ^b	48.95±0.64 ^c	64.04±0.83 ^a
	苯甲醇	102.97	28.40±1.45 ^c	142.97±1.47 ^b	1 623.92±1.04 ^a
	2-十二烷醇	104.63	—	8.64±0.12 ^a	—
	2-十三醇	104.62	8.16±0.84 ^a	—	—
	苯乙醇	105.20	0.81±0.09 ^c	5 100.95±3.22 ^a	3 196.15±1.86 ^b
	6,10-二甲基-5,9-十一烷-2-醇	106.91	—	—	30.28±0.56 ^a
	二氢- β -紫罗兰醇	107.89	57.14±1.44 ^a	26.97±1.28 ^c	54.23±0.56 ^b
	S-(Z)-3,7,11-三甲基-1,6,10-十二烷三烯-3-醇	111.93	—	—	16.59±0.60 ^a
醚酸类	醋酸	12.15	—	424.17±10.61 ^a	238.19±8.60 ^b
	4-辛烯酸,乙醚	12.49	80.29±0.85 ^a	—	—
	异丁酸	13.57	—	111.80±3.10 ^a	—
	乙二醇甲醚	13.65	1.80±0.08 ^a	—	—

续表 4

种类	挥发性成分	保留时间/min	含量/($\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)		
			原果汁	果汁酒	全果酒
醚酸类	1-乙基丙酯辛酸	13.99	21.45 $\pm$ 1.62 ^a	—	—
	戊酸	14.30	1.52 $\pm$ 0.05 ^c	9.68 $\pm$ 0.15 ^a	4.93 $\pm$ 0.10 ^b
	异戊酸	14.77	—	29.28 $\pm$ 1.10 ^a	10.83 $\pm$ 0.18 ^b
	四乙二醇二甲醚	14.58	—	1.72 $\pm$ 0.12 ^a	—
	1-(3,3-二甲基-1-基)-2,2-二甲基	16.02	—	19.74 $\pm$ 1.06 ^b	33.09 $\pm$ 1.77 ^a
	环丙烯-3-羧酸	18.85	—	216.92 $\pm$ 1.72 ^a	146.47 $\pm$ 3.14 ^b
	辛酸	19.84	3.17 $\pm$ 0.10 ^c	13.58 $\pm$ 0.45 ^a	6.75 $\pm$ 0.57 ^b
	壬酸	20.79	4.07 $\pm$ 0.19 ^c	80.35 $\pm$ 0.98 ^a	55.02 $\pm$ 1.81 ^b
	邻羟基肉桂酸	21.98	—	22.72 $\pm$ 2.24 ^a	—
	苯甲酸	22.40	6.98 $\pm$ 0.07 ^b	28.81 $\pm$ 0.97 ^a	—
	丙酮	3.31	4.30 $\pm$ 0.26 ^b	7.27 $\pm$ 0.06 ^a	—
	丙酮醛	3.90	—	4.34 $\pm$ 0.06 ^a	—
	2-戊酮	5.04	6.09 $\pm$ 0.21 ^a	—	—
	2-十二烷酮	8.28	—	3.20 $\pm$ 0.16 ^a	—
	4-壬酮	10.47	2.20 $\pm$ 0.15 ^a	—	—
酮类	3-壬酮	10.90	1.93 $\pm$ 0.04 ^a	—	—
	2-壬酮	11.35	0.92 $\pm$ 0.02 ^c	9.16 $\pm$ 0.03 ^a	3.47 $\pm$ 0.22 ^b
	4,5-二甲基-1-己炔-3-酮	12.28	—	1.66 $\pm$ 0.02 ^a	—
	苯乙酮	14.81	—	8.50 $\pm$ 0.16 ^a	6.57 $\pm$ 0.25 ^b
	2-羟基-(6CI,9CI)-3-己酮	15.17	—	11.86 $\pm$ 0.21 ^a	9.69 $\pm$ 0.32 ^b
	β -紫罗酮	16.02	63.48 $\pm$ 0.67 ^a	—	—
	大马士酮	16.62	—	—	12.15 $\pm$ 0.66 ^a
	橙化基丙酮	16.89	61.76 $\pm$ 1.12 ^a	51.70 $\pm$ 0.76 ^b	38.93 $\pm$ 0.10 ^c
	β -紫罗兰酮	17.84	112.07 $\pm$ 1.12 ^a	73.65 $\pm$ 1.85 ^b	61.17 $\pm$ 0.32 ^c
	呋喃酮	18.67	—	12.24 $\pm$ 0.39 ^a	5.38 $\pm$ 0.16 ^b
	6,10-二甲基-3,5,9-十一三烯-2-酮	19.70	5.76 $\pm$ 0.09 ^a	—	—
	2-十三烷酮	20.50	1.31 $\pm$ 0.02 ^c	5.36 $\pm$ 0.07 ^a	2.13 $\pm$ 0.18 ^b
	三环[4.1.0.02,7]庚-3-烯	6.00	—	—	2.52 $\pm$ 0.48 ^a
	庚烷-1,2,4,6-四烯	6.09	—	4.34 $\pm$ 0.24 ^a	—
	(+)-柠檬烯	8.53	20.51 $\pm$ 1.27 ^a	—	—
萜烯类	罗勒烯	9.35	8.39 $\pm$ 0.47 ^a	—	—
	苯乙烯	9.52	10.59 $\pm$ 0.91 ^b	20.38 $\pm$ 1.20 ^a	11.68 $\pm$ 1.56 ^b
	萜品油烯	9.84	4.87 $\pm$ 0.17 ^a	—	—
	2-甲基-1-苯基丙烯	12.07	—	—	4.16 $\pm$ 0.52 ^a
	2,5,5-三甲基-1,3-环戊二烯	12.11	3.79 $\pm$ 0.58 ^a	—	—
	1,4,4-三甲基-顺-双环[3.2.0]庚-2-烯	13.19	8.86 $\pm$ 0.09 ^a	—	6.82 $\pm$ 0.24 ^b
	2,6,10,10-四甲基-1-氧杂螺[4.5]癸-6-烯	13.38	52.18 $\pm$ 1.85 ^a	—	10.04 $\pm$ 0.86 ^b
	6-(E)-2-丁烯基-1,5,5-三甲基-1-环己烯	14.35	39.04 $\pm$ 1.03 ^a	—	—
	γ -松油烯	16.25	4.11 $\pm$ 0.48 ^b	—	14.61 $\pm$ 1.49 ^a
	4- α -异丙烯基-(+)-2-碳烯	16.43	13.07 $\pm$ 1.27 ^a	—	—
	月桂烯	16.72	25.32 $\pm$ 1.17 ^a	—	—

续表 4

种类	挥发性成分	保留时 间/min	含量/($\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)		
			原果汁	果汁酒	全果酒
醛类	乙醛	2.77	14.78 $\pm$ 1.01 ^c	64.27 $\pm$ 3.55 ^a	39.17 $\pm$ 1.02 ^b
	正丁醛	3.28	—	—	1.59 $\pm$ 0.04 ^a
	丙酮醛	3.90	—	4.30 $\pm$ 0.01 ^a	—
	正辛醛	9.94	2.94 $\pm$ 0.02 ^a	—	—
	壬醛	11.42	—	93.47 $\pm$ 2.99 ^a	45.04 $\pm$ 0.04 ^b
	糠醛	12.47	—	—	2.08 $\pm$ 0.04 ^a
	癸醛	12.80	—	14.19 $\pm$ 0.17 ^a	9.57 $\pm$ 0.42 ^b
	苯甲醛	13.28	—	1 006.99 $\pm$ 1.70 ^a	—
	甲氧基丙醛	13.86	—	—	5.38 $\pm$ 0.07 ^a
	苯乙醛	14.69	—	—	20.87 $\pm$ 2.53 ^a
烷类	1,1-二乙氧基乙烷	3.91	—	16.60 $\pm$ 1.43 ^a	11.55 $\pm$ 0.66 ^b
	十一烷	6.76	—	6.44 $\pm$ 0.33 ^b	12.52 $\pm$ 1.47 ^a
	3-羟基壬烷	12.60	—	—	10.42 $\pm$ 0.54 ^a
	正庚烷	12.75	—	5.51 $\pm$ 0.36 ^a	4.07 $\pm$ 0.10 ^b
	双环[10.1.0]十三烷	12.82	—	—	2.41 $\pm$ 0.26 ^a
	1-乙酰氧基-3-[4-乙酰氧基-3-甲氧基苯基]-2-丙烷	13.57	—	—	33.93 $\pm$ 2.34 ^a
	1-亚甲基-3-丙基环丁烷	13.77	—	—	2.51 $\pm$ 0.46 ^a
	正十六烷	13.97	1.56 $\pm$ 0.05 ^b	4.45 $\pm$ 0.38 ^b	—
	反式双环[4.2.0]辛烷	14.13	12.74 $\pm$ 0.68 ^a	—	—
	1,2(S)-环氧庚烷	17.10	—	6.45 $\pm$ 0.53 ^a	2.20 $\pm$ 0.18 ^b
其他类	2,4,5-三甲基-1,3-二氧戊环	4.55	—	16.35 $\pm$ 2.05 ^a	—
	甲苯	6.00	6.92 $\pm$ 0.59 ^a	—	—
	邻-(1-苯基乙基)苯酚	6.93	—	3.33 $\pm$ 0.28 ^a	—
	邻二甲苯	8.37	1.05 $\pm$ 0.11 ^a	—	—
	2-正戊基呋喃	9.04	—	3.40 $\pm$ 0.24 ^a	—
	对伞花烃	9.67	5.48 $\pm$ 0.41 ^a	—	—
	1,3-二叔丁基苯	11.87	8.95 $\pm$ 0.28 ^a	35.52 $\pm$ 3.10 ^a	18.79 $\pm$ 2.65 ^b
	1,2,3,4-四氢-1,1,6-三甲基萘	12.19	2.17 $\pm$ 0.16 ^a	—	—
	Edulan II	12.61	10.21 $\pm$ 0.98 ^c	53.62 $\pm$ 2.18 ^a	26.17 $\pm$ 2.00 ^b
	Edulan I	14.21	212.17 $\pm$ 4.15 ^a	—	—
其他类	2,5-二异丙基-1,4-二甲苯	15.10	—	10.83 $\pm$ 1.46 ^a	4.42 $\pm$ 0.31 ^b
	1-丙醇 3-(甲硫基)	15.40	—	—	25.04 $\pm$ 2.04 ^a
	1,1,6-三甲基-1,2-二氢萘	15.85	28.09 $\pm$ 1.04 ^a	9.90 $\pm$ 0.68 ^b	5.53 $\pm$ 0.37 ^a
	萘	15.88	—	4.54 $\pm$ 0.45 ^a	3.39 $\pm$ 0.33 ^b
	正己基呋喃	16.68	3.42 $\pm$ 0.37 ^a	—	—
	2-甲基苯并呋喃	16.83	—	—	1.06 $\pm$ 0.13 ^a
	丁香酚	20.02	—	—	5.31 $\pm$ 0.17 ^a
	(E)-2-甲氧基-4-(1-丙烯基苯酚)	20.03	—	2.66 $\pm$ 0.25 ^a	—
	2,4-二叔丁基苯酚	21.14	1.39 $\pm$ 0.17 ^b	—	4.02 $\pm$ 0.23 ^a
	4-烯丙基苯酚	21.48	—	—	1.57 $\pm$ 0.17 ^a

† 字母不同表示差异显著 ($P<0.05$) ; “—”表示未检出或检出限太低。

由表 4 可知,3 个样品中共检出 179 种香气成分,包括 61 种酯类、33 种醇类、14 种醚酸类、17 种酮类、14 种萜烯类、10 种醛类、10 种烷烃类以及 20 种其他类化合物。3 个样品中鉴定出乙酸乙酯、丁酸乙酯、乙醇、芳樟醇、 α -松油醇、戊酸、壬酸、2-壬酮、苯乙烯、乙醛等 38 种共有成分,但含量差异显著($P<0.05$),这些化合物可能是百香果酒的关键香味物质。

由表 5 可知,从种类数量上看,原果汁、全果酒和果汁酒中分别检出 103,100,95 种挥发性成分,全果酒中挥发性化合物比果汁酒多 4 种,但萜烯类和烷类物质种类分别多 3,1 倍。从含量上看,原果汁中酯类($8\,773.33\,\mu\text{g/L}$)、酮类

($259.82\,\mu\text{g/L}$)、萜烯类($190.73\,\mu\text{g/L}$)和其他类物质含量($279.87\,\mu\text{g/L}$)均高于两种果酒,但全果酒和果汁酒中的醇类化合物含量显著高于原果汁($P<0.05$);与种类数量一样,全果酒中萜烯类和烷类物质含量均高于果汁酒,Janzantti 等^[27]研究发现萜烯类物质对百香果香气有较高贡献,其主要表现为花香和果香;酯类化合物是各种水果特有的果味和芳香的主要贡献者,在文献^[28]中也形成了最大的挥发性化合物,而醇类化合物含有花香和草本的绿色香气,是第二大类;酮类化合物由于柱残留非常严重,相对酯类和醇类来说,2 种发酵酒中酮类物质含量较少,但由于其感觉阈值较低,因而对果酒风味贡献较大^[-29]。

表 5 百香果发酵酒中挥发性化合物种类和含量[†]

Table 5 Variety and content of volatile compounds in fermented passion fruit wine

类别	原果汁		果汁酒		全果酒	
	种类	含量/ $(\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1})$	种类	含量/ $(\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1})$	种类	含量/ $(\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1})$
酯类	41	$8\,773.33\pm10.39^a$	32	$3\,861.89\pm11.86^b$	29	$2\,144.41\pm9.33^c$
醇类	20	$1\,849.74\pm8.69^c$	20	$22\,585.40\pm4.31^a$	25	$17\,973.19\pm7.72^b$
醚酸类	7	121.00 ± 0.69^c	11	957.06 ± 10.19^a	7	495.29 ± 7.35^b
酮类	10	259.82 ± 1.17^a	11	188.93 ± 0.85^b	8	139.71 ± 1.04^c
萜烯类	11	190.73 ± 1.23^a	2	24.72 ± 1.32^c	6	49.83 ± 2.07^b
醛类	2	17.72 ± 1.02^c	5	$1\,182.97\pm2.91^a$	7	123.72 ± 1.86^b
烷类	2	14.30 ± 0.66^c	5	39.44 ± 1.60^b	8	79.63 ± 3.91^a
其他类	10	279.87 ± 3.85^a	9	140.14 ± 2.04^b	9	95.30 ± 2.78^c

[†] 字母不同表示差异显著($P<0.05$)。

3 结论

对百香果全果发酵酒和果汁发酵酒中的主要风味成分进行了研究。结果表明,除苹果酸外,全果酒中的有机酸含量均显著高于果汁酒中的($P>0.05$);发酵后,两种发酵酒苹果酸含量减少,乳酸含量增加,且前者变化更大,说明其口感变得更柔和。全果酒中的呈味氨基酸含量均大于果汁酒,表明全果酒的整体呈味效果更好。味觉数据显示,全果酒中鲜味突出、涩味减弱,总体滋味协调。全果酒中的香气成分种类多于果汁酒,且前者的萜烯类物质含量和种类比后者分别多 1,3 倍。综上,与果汁酒相比,百香果全果酒的滋味和香气成分更为理想,后续可对百香果全果发酵酒和果汁发酵酒的功能性成分及抗氧化活性进行研究。

参考文献

[1] REIS L C R D, FACCO E M P, FLÓRES S H, et al. Stability of functional compounds and antioxidant activity of fresh and pasteurized orange passion fruit (*Passiflora caerulea*) during cold storage[J]. Food Research International, 2018, 106(4): 481-486.

[2] GUPTA R K, KUMAR D, CHAUDHARY A K, et al. Antidiabetic activity of *Passiflora incarnata* Linn. in streptozotocin-induced diabetes in

mice[J]. Journal of Ethnopharmacology, 2012, 139(3): 801-806.

[3] SINGH B, SINGH D, GOEL R K. Dual protective effect of *Passiflora incarnata* in epilepsy and associated post-ictal depression[J]. Journal of Ethnopharmacology, 2012, 139(1): 273-279.

[4] DENG Jun-liang, ZHOU Yu-juan, BAI Meng-meng, et al. Anxiolytic and sedative activities of *Passiflora edulis* f. *flavicarpa*[J]. Journal of Ethnopharmacology, 2010, 128(1): 148-153.

[5] WYCKHUYS K, KORYTKOWSKI C, MARTINEZ J, et al. Species composition and seasonal occurrence of Diptera associated with passionfruit crops in Colombia[J]. Crop Protection, 2012, 32: 90-98.

[6] 杨玉霞, 康超, 段振华, 等. 响应面法优化百香果酒发酵工艺研究[J]. 食品工业科技, 2018, 39(8): 167-172, 189.

YANG Yu-xia, KANG Chao, DUAN Zhen-hua, et al. Optimization of fermentation conditions for passionfruit wine by response surface methodology[J]. Science & Technology of Food Industry, 2018, 39(8): 167-172, 189.

[7] 程昊, 陈姚锋, 唐婷范, 等. 发酵型百香果酒的研制[J]. 食品研究与开发, 2020, 41(16): 160-164.

CHENG Hao, CHEN Yao-feng, TANG Ting-fan, et al. Development of fermented passion fruit wine[J]. Food Research and Development, 2020, 41(16): 160-164.

[8] 程宏桢, 蔡志鹏, 王静, 等. 百香果全果酒发酵工艺优化及体外抗氧化性比较分析[J]. 中国酿造, 2020, 39(4): 91-97.

- CHENG Hong-zhen, CAI Zhi-peng, WANG Jing, et al. Optimization of fermentation process for whole passion fruit wine and comparative analysis of antioxidant activity in vitro[J]. China Brewing, 2020, 39(4): 91-97.
- [9] 刘晓静, 于立梅, 庄雪莹, 等. 百香果酒发酵工艺及香气成分分析[J]. 中国酿造, 2017, 36(12): 153-157.
- LIU Xiao-jing, YU Li-mei, ZHUANG Xue-ying, et al. Fermentation process and aroma components analysis of passion fruit wine[J]. China Brewing, 2017, 36(12): 153-157.
- [10] OLIVEIRA P, GOMES P, ALCARDE A R, et al. Characterization and volatile profile of passion fruit spirit[J]. International Journal of Gastronomy and Food Science, 2020, 21: 100223.
- [11] 程宏桢, 蔡志鹏, 王静, 等. 基于 GC-MS、GC-O 和电子鼻技术评价百香果酒香气特征[J]. 食品科学, 2021, 42(6): 256-264.
- CHEN Hong-zhen, CAI Zhi-peng, WANG Jing, et al. Based on GC-MS, GC-O and electronic nose technology to evaluate the aroma characteristics of passion fruit wine[J]. Food Science, 2021, 42(6): 256-264.
- [12] 朱晓丽, 杨周洁, 文安燕, 等. 人源 *Lactobacillus reuteri* 协同发酵薏米酸奶的品质分析[J]. 现代食品科技, 2021, 37(3): 97-105.
- ZHU Xiao-li, YANG Zhou-jie, WEN An-yan, et al. Quality analysis of semen coicis yoghurt fermented by human *Lactobacillus reuteri*[J]. Modern Food Science and Technology, 2021, 37(3): 97-105.
- [13] WEN An-yan, XIE Chun-zhi, MAZHAR M, et al. Tetramethylpyrazine from adlay (*Coix lacryma-jobi*) biotransformation by *Bacillus subtilis* and its quality characteristics[J]. Journal of Food Science and Technology Mysore, 2020, 57(11): 4 092-4 102.
- [14] 于博, 郭壮, 汤尚文, 等. 不同发酵时间米酒滋味品质变化的研究[J]. 食品研究与开发, 2015, 36(10): 15-18.
- YU Bo, GUO Zhuang, TANG Shang-wen, et al. A comparative study on the taste profile characterization of rice wine in different fermentation time[J]. Food Research and Development, 2015, 36(10): 15-18.
- [15] GUO Jing, YUE Tian-li, YUAN Ya-hong, et al. Characterization of volatile and sensory profiles of apple juices to trace fruit origins and investigation of the relationship between the aroma properties and volatile constituents[J]. LWT-Food Science and Technology, 2020, 124: 109203.
- [16] 潘薇, 刘文静, 韦航, 等. 不同品种百香果果汁营养与香气成分的比较[J]. 食品科学, 2019, 40(22): 277-286.
- PAN Wei, LIU Wen-jing, WEI Hang, et al. Comparative analysis of nutritional and aroma components in passion fruit juices from five cultivars[J]. Food Science, 2019, 40(22): 277-286.
- [17] 杨江威. 酵母发酵葡萄汁过程中几种有机酸的消长[D]. 大连: 大连工业大学, 2012: 4-5.
- YANG Jiang-wei. Growth and decline of several organic acids in the process of yeast fermentation of grape juice[D]. Dalian: Dalian Polytechnic University, 2012: 4-5.
- [18] RADIN L, PRONZATO C, CASARETO L, et al. Tartaric acid in wines may be useful for preventing renal calculi: Rapid determination by HPLC[J]. Journal of Liquid Chromatography, 1994, 17(10): 2 231-2 246.
- [19] 张倩茹, 殷龙龙, 尹蓉, 等. 果酒主要成分及其功能性研究进展[J]. 食品与机械, 2020, 36(4): 226-230, 236.
- ZHANG Qian-ru, YIN Long-long, YIN Rong, et al. Analysis of components and functionality of fruit wine[J]. Food & Machinery, 2020, 36(4): 226-230, 236.
- [20] 刘文静, 潘薇, 吴建鸿. 5 种百香果系间氨基酸组成比较及评价分析[J]. 食品工业科技, 2019, 40(24): 237-241.
- LIU Wen-jing, PAN Wei, WU Jian-hong. Comparative analysis and evaluation of amino acids composition among five passion fruit varieties[J]. Science & Technology of Food Industry, 2019, 40(24): 237-241.
- [21] HAYAT S, HAYAT Q, ALYEMENI M N, et al. Role of proline under changing environments[J]. Plant Signal Behave, 2012, 7(11): 1 456-1 466.
- [22] UEMATSU A, TSURUGIZAWA T, KITAMURA A, et al. Evaluation of the 'liking' and 'wanting' properties of umami compound in rats[J]. Physiology & Behavior, 2011, 102(5): 553-558.
- [23] WANG Pei-xuan, MAO Jian, MENG Xiang-yong, et al. Changes in flavour characteristics and bacterial diversity during the traditional fermentation of Chinese rice wines from Shaoxing region[J]. Food Control, 2014, 44: 58-63.
- [24] 潘季红, 秦礼康, 文安燕, 等. 贵州红酸汤营养品质及呈味特征分析[J]. 中国调味品, 2020, 45(6): 43-48.
- PAN Ji-hong, QING Li-kang, WEN An-yan, et al. Analysis of nutritional quality and flavor characteristics of red acid soup in Guizhou province[J]. China Condiment, 2020, 45(6): 43-48.
- [25] KOBAYASHI Y, HABARA M, KEZAZKI H, et al. Advanced taste sensors based on artificial lipids with global selectivity to basic taste qualities and high correlation to sensory scores[J]. Sensors, 2010, 10(4): 3 411-3 443.
- [26] WANG Wen-li, ZHOU Xi-rui, LIU Yuan. Characterization and evaluation of umami taste: A review[J]. Trends in Analytical Chemistry, 2020, 127: 115876.
- [27] JANZANTTI N S, MACORIS M S, GARRUTI D S, et al. Influence of the cultivation system in the aroma of the volatile compounds and total antioxidant activity of passion fruit[J]. LWT-Food Science and Technology, 2012, 46(2): 511-518.
- [28] SERRAO M M, SOARES J N, SANTOS G, et al. Volatile compounds from organic and conventional passion fruit (*Passiflora edulis* F. Flavicarpa) pulp[J]. Food Science and Technology, 2011, 31(2): 430-435.
- [29] 刘纯友, 江素珍, 冯笑, 等. HS-SPME-GC-MS 测定三种类型百香果果实挥发性风味成分[J]. 食品工业科技, 2021, 42(11): 255-262.
- LIU Chun-you, JIANG Su-zhen, FENG Xiao, et al. Study on volatile flavor compounds from three types of passion fruit using headspace solid phase micro-extraction gas chromatography mass spectrometry[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(11): 255-262.