

基于智能感官和HS-SPME-GC-MS技术分析火龙果发酵酒的风味

于志海,何书成,董文轩,石明芝,袁叶鑫,张美星,黄名正,刘晓柱,刘晓辉,龚 勋

(贵州理工学院 食品药品制造工程学院,贵州 贵阳 550003)

摘要: 该研究采用智能感官技术(电子鼻和电子舌)对不同采收时间(8月、9月、10月)及贵州产地(关岭、罗甸、贞丰)火龙果的发酵酒香气和滋味特征进行研究,对其进行主成分分析(PCA),并采用顶空固相微萃取-气质(HS-SPME-GC-MS)联用仪对其挥发性风味成分进行分析。结果表明,9月份罗甸采收火龙果制备的发酵酒对甲基类化合物、无机硫化物、长链烷烃等化合物响应值最高,8月份采收火龙果制备的发酵酒酸味响应值最高。样品共检出67种挥发性风味化合物,其中,酯类35种、醇类17种、酸类2种、芳香族化合物3种、醛酮类3种和其他类7种。其中,相对风味活性值(ROAV) > 1的挥发性风味成分14种,特征香气成分4种(乙酸-3-甲基丁酯、己酸乙酯、辛酸乙酯和(Z)-2,3-丁二醇)。结果表明,季节对滋味和气味的影响大于产地,但对发酵酒的特征香气成分没有影响。

关键词: 产地;采收时间;火龙果发酵酒;风味;主成分分析

中图分类号: TS262.7

文章编号: 0254-5071(2023)09-0223-07

doi:10.11882/j.issn.0254-5071.2023.09.038

引文格式: 于志海,何书成,董文轩,等. 基于智能感官和HS-SPME-GC-MS技术分析火龙果发酵酒的风味[J]. 中国酿造, 2023, 42(9): 223-229.

Analysis of fermented dragon fruit wine flavor based on intelligent sensory and HS-SPME-GC-MS

YU Zhihai, HE Shucheng, DONG Wenxuan, SHI Mingzhi, YUAN Yexin, ZHANG Meixing, HUANG Mingzheng,
LIU Xiaozhu, LIU Xiaohui, GONG Xun

(College of Food & Pharmaceutical Engineering, Guizhou Institute of Technology, Guiyang 550003, China)

Abstract: The smell and taste characteristics of fermented wine from dragon fruit harvested at different time (August, September and October) and Guizhou producing areas (Guanling, Luodian and Zhenfeng) were studied, the results were analyzed with principal component analysis (PCA), and the volatile flavor components were analyzed by HS-SPME-GC-MS. The results showed that the fermented wine of dragon fruit harvested from Luodian in September had the highest response value to methyl compounds, inorganic sulfur compounds, long chain alkane and other compounds. The acidity response value of fermented wine of dragon fruit harvested in August was the highest. A total of 67 volatile flavour compounds were detected in the samples, including 35 esters, 17 alcohols, 2 acids, 3 aromatic compounds, 3 aldehydes and 7 other compounds. Among them, there were 14 volatile flavor components with relative flavor activity value (ROAV) > 1, and 4 characteristic aroma components (3-methyl butyl acetate, ethyl caproate, ethyl caprylate and (Z)-2,3-butanediol). The results showed that the influence of season on taste and smell was greater than that of producing areas, but it had no influence on the characteristic aroma components of fermented wine.

Key words: producing area; harvest time; fermented dragon fruit wine; flavor; principal component analysis

火龙果是热带和亚热带的重要水果^[1], 常见栽培品种为红皮红肉火龙果 (*Hylocereus polyrhizus*)、黄皮白肉火龙果 (*H. megalanthus*) 和红皮白肉火龙果 (*H. undatus*)。贵州地处中国西南部, 属亚热带湿润季风气候, 年平均气温14~16℃^[2], 在海拔700 m以下的南盘江、北盘江、红水河流域及海拔低于500 m的赤水河流域均适合火龙果的种植, 贵州种植面积比较广的品种为红肉火龙果, 主要分布在关岭、贞丰、罗甸、望谟、镇宁、册亨6县, 总面积超6 666.67 hm²^[3]。

火龙果富含甜菜素等功能性物质, 具有抗氧化^[4,5]、抗病毒^[6]和抗癌活性^[7], 并且红肉火龙果提取物可降低雄性大鼠剧烈运动后的乳酸水平和肌酸激酶活性^[8]和增强骨

髓间充质干细胞的增殖与成骨分化^[9], 改善胃溃疡^[10], 降低心血管疾病风险, 改善个体的内皮功能和动脉硬度^[11-12]。火龙果中的甜菜素^[10]作为着色剂以及火龙果肉逐渐以更重要的角色加入到人类的日常饮食中^[11]。火龙果发酵酒是以火龙果为原料经酒精发酵后酿造成的果酒^[13]。风味是评价果酒品质的关键指标, 目前, 已有火龙果发酵酒风味研究的相关报道, 程志华等^[14]研究了以广东省售新鲜红心火龙果为原料酿造的火龙果发酵酒中的香气物质, 结果表明, 其香气物质主要为醇类和酯类物质, 包括乙醇、癸酸乙酯、苯乙醇、正癸酸等; 陈烁^[15]以贵州红心火龙果为原料, 采用酵母一次发酵、红曲二次发酵的工艺酿造发酵酒的特征

收稿日期: 2023-01-30

修回日期: 2023-04-16

基金项目: 贵州理工学院高层次人才科研启动经费项目(XJGC20190662); 贵州省教育厅高等学校科学研究项目(黔教技[2022]050号); 贵州省自然科学基金项目(黔科合基础-ZK[2023]一般137)

作者简介: 于志海(1983-), 男, 副教授, 博士, 研究方向为优质酿酒微生物资源的挖掘与应用。

风味成分为乙酸乙酯、乙酸异戊酯、乳酸乙酯等;李凯等^[16]以越南红心火龙果为原料酿造的火龙果发酵酒中的香气物质主要为己酸乙酯、乙酸异戊酯、辛酸乙酯等,不同产地的红心火龙果所酿造的发酵酒的主要香气成分存在较大差异。

为了进一步探明产地和采收时间对红肉火龙果发酵酒品质的影响,本实验室前期利用贵州省3个产地(关岭、罗甸和贞丰)和3个采收时间(8月、9月、10月)的红肉火龙果酿造了发酵酒,并对其火龙果酒的基本质量进行了评价^[1]。本研究在此基础上利用智能感官技术(电子鼻和电子舌)对不同采收时间(8月、9月、10月)及贵州产地(关岭、罗甸、贞丰)火龙果的发酵酒气味及滋味特征进行研究,对其进行主成分分析(principal component analysis, PCA),并采用顶空固相微萃取-气相色谱质谱(headspace solidphase microextraction-gas chromatography-mass spectrometer, HS-SPME-GC-MS)联用仪对其挥发性风味成分进行分析,以期揭示不同产地和采收季节火龙果酿造发酵酒的风味差异规律,为贵州省火龙果发酵酒的品质控制提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

火龙果发酵酒:关岭地区8、9、10月产火龙果酿造酒(编号为G8、G9、G10)、罗甸地区8、9、10月产火龙果酿造酒(编号为L8、L9、L10)、贞丰地区8、9、10月产火龙果酿造酒(编号为Z8、Z9、Z10),贵州理工学院酿制而成^[1];无水乙醇、无水硫酸钠、氯化钠、氯化钾(均为分析纯):成都金山化学试剂有限公司;酒石酸(分析纯):天津市优普化学试剂有限公司。

1.2 仪器与设备

DL-5M低速大容量冷冻离心机:湖南平凡科技有限公司;SA402b型电子舌味觉分析系统:日本INSENT公司;PEN3型电子鼻:德国AIRSENSE公司;FA224型分析天平:上海舜宇恒平科学仪器有限公司;HH-4D型数显恒温水浴锅:常州奥华仪器有限公司;PAL型自动顶空固相微萃取装置(HS-SPME)、TQ8040NX型气相色谱-质谱联用(GC-MS)仪:日本岛津公司。

1.3 方法

1.3.1 电子鼻的测定

电子鼻是一种仿生嗅觉技术,可无损、快速和灵敏地对样品中挥发性气味信息进行全面评估^[12]。取样品10 mL于电子鼻专用进样瓶中,富集气体15 min,用电子鼻专用采集与数据处理软件Winmuster 1.6.2进行检测分析。电子鼻程序设置为清洗200 s;归零5 s;准备5 s;进样测量100 s,气体流量为200 mL/min。电子鼻传感器响应的敏感物质见表1。

表1 电子鼻传感器响应的敏感物质

Table 1 Sensitive substances responded by electronic nose sensors

传感器名称	传感器响应的敏感物质
W1C	对芳香成分苯类敏感
W5S	灵敏度大,对氮氧化物很灵敏
W3C	对氨类、芳香成分灵敏
W6S	主要对氢化物有选择性
W5C	对短链烷烃芳香成分灵敏
W1S	对甲基类灵敏
W1W	对无机硫化物灵敏
W2S	对醇类、醛酮类灵敏
W2W	对芳香成分、有机硫化物灵敏
W3S	对长链烷烃灵敏

1.3.2 电子舌的测定

电子舌是一种仿生味觉分析设备,能基于人工味觉传感器阵列膜电势的变化,客观地反映食品滋味的变化^[17]。每个样品取70 mL,分在两个样品杯中待测。在室温环境下,检测样品的酸味、咸味、苦味、涩味、鲜味、苦味后味、涩味后味和味觉丰富度8种味觉响应值,每个样品重复检测4次,舍弃第1次的测量值,取后3次测量值的平均值为最后结果。电子舌程序设置为电极清洗1:90 s;电极清洗2:120 s;电极清洗3:120 s;传感器自检:30 s,传感器电信号输出值在 0 ± 0.5 之内视为自检通过,否则重新进行自检,直到自检通过;样品测量:30 s;电极清洗4:3 s;电极清洗5:3 s;后味测量:30 s。电子舌传感器的性能见表2。

表2 电子舌传感器的性能

Table 2 Performance of electronic tongue sensors

传感器名称	滋味	
	本味	回味
酸味传感器(CA0)	酸味(醋酸、柠檬酸、酒石酸等引起的酸味)	无
咸味传感器(CT0)	咸味(食盐等无机盐引起的咸味)	无
苦味传感器(C00)	苦味(苦味物质滋味,低浓度感知为丰富性)	苦味回味(啤酒、咖啡等食品的苦味)
涩味传感器(AE1)	涩味(涩味物质滋味,低浓度感知为刺激性回味)	涩味回味(茶、红酒等呈现的涩味)
鲜味传感器(AAE)	鲜味(氨基酸、核苷酸引起的鲜味)	鲜味丰富性(可持续感知的鲜味)

1.3.3 HS-SPME-GC-MS分析

采用HS-SPME-GC-MS检测火龙果发酵酒的挥发性风味成分。

HS-SPME条件:取8 mL火龙果酒置于20 mL顶空瓶中,同时加入2.0 g NaCl和2 μ L环己酮(内标物),用聚四氟乙烯隔垫密封。40 $^{\circ}$ C平衡15 min后,保持40 $^{\circ}$ C顶空萃取30 min,之后插入GC进样口以不分流模式解吸2 min。

GC-MS条件: InertCap Wax毛细管柱(60 m×0.25 mm, 0.25 μm); 升温程序为初始温度40℃保持3 min, 以3℃/min升至230℃, 保持2 min; 载气为高纯氦气(He)(≥99.999%), 流速为1.88 mL/min; 进样口温度240℃。电子电离(electron ionization, EI)源; 电子能量70 eV; 离子源温度230℃; 质谱接口温度250℃; 质量扫描范围29~500 m/z。

定性定量分析: 利用挥发性成分检索系统美国国家标准与技术研究院(national institute of standards and technology, NIST) 谱库, 选取相似度>90%的化合物进行初步定性, 并采用线性保留指数(linear retention index, LRI)进一步定性, 结合相关文献资料确定火龙果酒中的挥发性成分。采用内标法对挥发性成分的含量进行相对定量。目标化合物的峰面积与内标物(环己酮)的峰面积之比与内标物的质量浓度的乘积即为目标化合物的相对质量浓度^[11]。其计算公式如下:

$$\rho_i = \frac{A_i}{A_s} \times \rho_s$$

式中: A_s 为内标物的峰面积; A_i 为目标化合物的峰面积; ρ_s 为内标物的质量浓度, μg/L; ρ_i 为目标化合物的质量浓度, μg/L。

为了明确火龙果发酵酒样品挥发性风味化合物的贡献度, 分析了各种火龙果发酵酒的相对风味活性值(relative odour activity value, ROAV)。相对风味活性值可评价特定挥发性化合物对酒体的贡献度, ROAV>1时, 该化合物对酒体香气有突出贡献, 反之ROAV<1表明该化合物对酒体香气的贡献不突出^[18]。利用当前能查到的阈值计算了火龙果酒中主要挥发性风味化合物的OAV。

1.3.4 数据处理

利用Origin 8.0进行数据分析, GraphPad Prism 9.0作图。

2 结果与分析

2.1 不同产地和采收时间火龙果发酵酒的气味特征

火龙果发酵酒的电子鼻传感器响应雷达图和主成分分析散点图见图1。由图1a可知, 传感器W1C、W3C、W6S、W5C和W2W对所有样品的响应值均较低, 说明样品中均含有较低含量的芳香成分化合物、氮类化合物、氢化物、短链烷烃类化合物和有机硫化合物。传感器W1S、W1W、W3S、W2S、W5S对所有火龙果发酵酒的响应值较高, 尤其在样品L9中的响应值最高, 说明样品中的甲基类化合物、无机硫化合物、长链烷烃、醇类和醛酮类、氮氧化合物的含量较高。

由图1b可知, 主成分(principal component, PC) 1和PC2的方差贡献率分别为76.07%和14.95%, 累计方差贡献率为91.02%, 各个样品主要集中在3个区域, 除了样品L9以外, 样品G8、L8、Z8, 样品G9、Z9及样品G10、L10、Z10分别集中在一个区域, 说明在该组样品中, 采收季节是影响火龙果

发酵酒风味特征的关键因素, 而产地的影响效力不及采收季节; 样品L9及Z10在横轴上不能区分, 且二者均位于象限交界处, 说明二者具有类似的风味特征, 这可能与贞丰和罗甸几乎位于同一纬度有关^[1]。

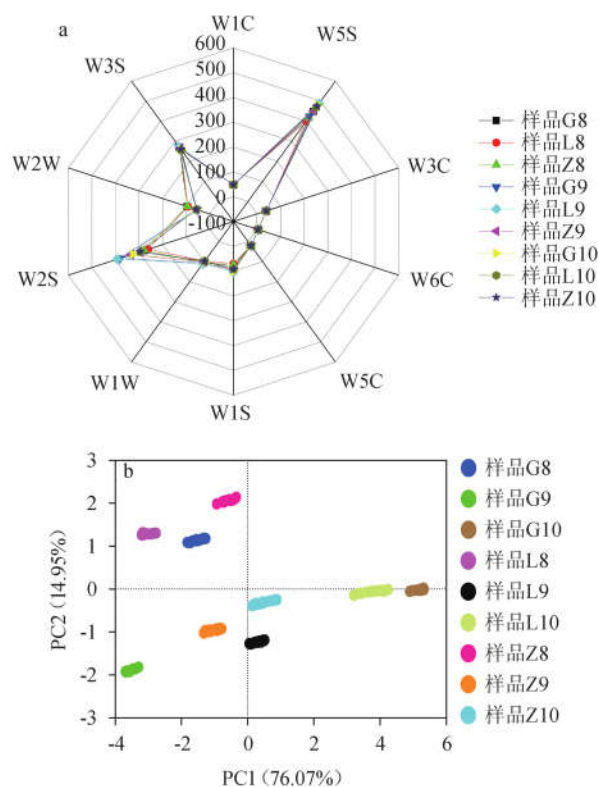


图1 火龙果发酵酒的电子鼻传感器响应雷达图(a)和主成分分析散点图(b)

Fig. 1 Electronic nose sensor response radar diagram (a) and principal component analysis scatter diagram (b) of fermented dragon fruit wine

2.2 不同产地和采收时间火龙果发酵酒的滋味特征

不同产地和采收时间的火龙果发酵酒电子舌传感器响应雷达图见图2。由图2a~2c可知, 8月份采收火龙果制备的发酵酒的酸味响应值均比9、10月份高, 其余滋味的响应值均最低。关岭地区9、10月份采收火龙果的发酵酒滋味响应值由高到低为咸味、鲜味、苦味、后味A、后味B、涩味、丰富度、酸味, 9月份采收火龙果的发酵酒各滋味响应值均低于10月份样品, 贞丰和罗甸地区火龙果发酵酒的滋味响应值类似于关岭地区, 但贞丰地区9、10月份采收火龙果的发酵酒的滋味响应值更接近。结果表明, 同一产地不同采收季节火龙果的发酵酒滋味特征存在着明显差异, 说明采收季节对火龙果酒的风味影响较大。为了进一步确定导致这种差异的因素, 考察不同产地同一采收季节火龙果发酵酒的滋味特征, 由图2d~2f可知, 不同产地同一采收时间火龙果发酵酒的滋味特征几乎一致, 但不同采收时间火龙

果发酵酒的电子舌传感器响应值却有着明显差异,8月份采收火龙果的发酵酒酸味响应值要明显高于其他两个采

收月份,而在9、10月份采收火龙果的发酵酒的咸味、鲜味和苦味响应值要明显高于8月份。

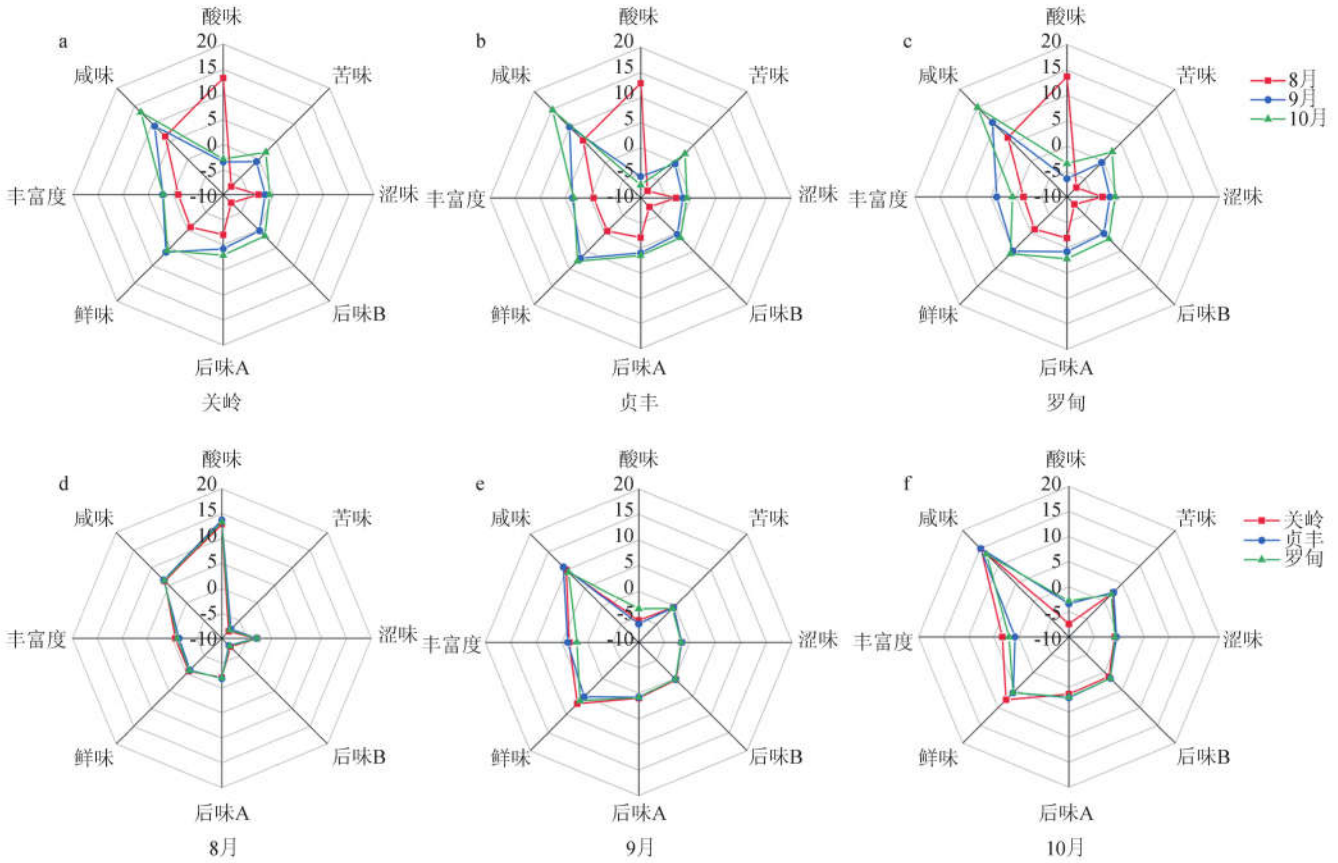


图2 火龙果发酵酒的电子舌传感器响应雷达图

Fig. 2 Electronic tongue sensor response radar diagram of fermented dragon fruit wine

结果表明,影响火龙果发酵酒滋味特征的环境因素中,采收时间要比产地更突出。进一步对不同产地、不同采收时间的火龙果发酵酒进行主成分分析,结果见图3。由图3可知,不同采收时间的火龙果发酵酒在PC1上具有良好的区分度,同一采收时间不同产地火龙果发酵酒在PC2上的区分度不及采收时间。

综上,采收季节对火龙果酒的滋味影响大于产地因素,8月份采收火龙果的发酵酒酸味值高于其余两个月份,而咸味、鲜味和苦味值却不及9月和10月。

2.3 不同产地和采收时间火龙果发酵酒的挥发性风味成分分析

不同火龙果发酵酒样品中的挥发性风味成分种类和含量见表3。由表3可知,从火龙果发酵酒样品中共检出67种挥发性化合物,其中,酯类35种、醇类17种、酸类2种、芳香族化合物3种、醛酮类化合物3种和其他类7种,样品G8中的挥发性风味成分种类最多,为54种,样品G10中的挥发性风味成分种类最少,为39种。对于同一产地采收火龙果所酿造的发酵酒,除了贞丰地区样品外,关岭、罗甸地区样品挥发性风味成分的种类均呈现下降趋势。不同产地同一采收时间火龙果的发酵酒样品中的挥发性风味成分种类数多少排序为样品G8(54) > L8(49) > Z8(40), 样品G9(53) > Z9(49) > L9(48), 样品L10(44) > Z10(40) > G10(39)。

从不同样品中挥发性风味成分的含量水平来看,酯类

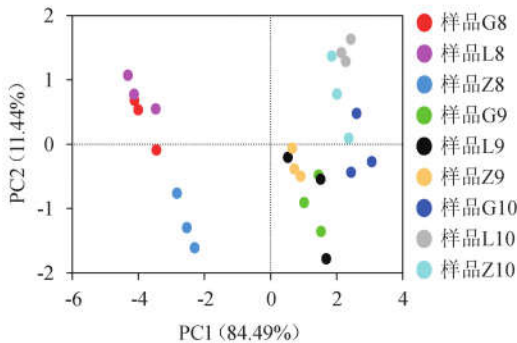


图3 基于电子舌检测结果火龙果发酵酒的主成分分析散点图

Fig. 3 Principal component analysis scatter diagram of fermented dragon fruit wine samples based on electronic tongue detection results

物质和醇类物质是所有样品中挥发性风味成分的主要成分,其中酯类物质含量为1.24~10.14 mg/L,醇类物质含量为4.33~10.78 mg/L。在同一种样品中,这2种挥发性风味成

分的含量均分别显著高于其余各类挥发性物质的含量,这与广东省售新鲜红心火龙果酿造的发酵酒主要香气成分的研究结果一致^[14]。

表3 不同火龙果发酵酒样品中的挥发性风味成分种类及含量
Table 3 Types and contents of volatile flavor compounds in different fermented dragon fruit wine samples

样品	酯类		醇类		酸类		芳香族		醛酮类		其他		合计	
	数量	含量/(mg·L ⁻¹)	数量	含量/(mg·L ⁻¹)	数量	含量/(mg·L ⁻¹)	数量	含量/(mg·L ⁻¹)	数量	含量/(mg·L ⁻¹)	数量	含量/(mg·L ⁻¹)	数量	含量/(mg·L ⁻¹)
G8	29	7.85±0.18b	14	6.06±0.09d	3	0.39±0.22c	2	0.31±0.12cd	1	0.08±0.02b	5	1.99±1.06c	54	16.68±1.69
G9	28	10.14±0.11a	13	8.32±0.17b	4	0.45±0.01b	2	0.52±0.08a	1	0.08±0.02b	5	1.41±0.18e	53	20.92±0.57
G10	19	2.27±0.08d	10	6.17±0.24d	2	0.13±0.03e	1	0.19±0.02e	2	0.07±0.02c	5	2.70±0.20b	39	11.53±0.59
L8	24	4.66±0.11c	12	10.78±0.07a	3	0.45±0.09b	3	0.45±0.05b	2	0.08±0.02b	5	1.78±0.59d	49	18.20±0.93
L9	25	7.43±0.14b	10	8.48±0.16b	4	0.33±0.06cd	3	0.45±0.14b	2	0.10±0.01a	4	1.22±0.26f	48	18.01±0.77
L10	23	2.83±0.11d	10	4.33±0.16e	3	0.27±0.02d	2	0.21±0.02e	2	0.07±0.01c	4	1.71±0.31d	44	9.42±0.63
Z8	19	4.35±0.28c	9	7.70±0.20c	3	0.34±0.04c	2	0.29±0.04d	3	0.09±0.02ab	4	2.16±0.47c	40	14.93±1.05
Z9	26	1.24±0.14e	11	8.64±0.14b	3	0.52±0.10a	3	0.59±0.05a	1	0.06±0.01d	5	1.17±0.31f	49	12.22±0.75
Z10	20	2.74±0.11d	11	6.27±0.17d	2	0.13±0.02e	3	0.20±0.02e	-	-	4	3.82±0.50a	40	13.16±0.82

注:“-”表示未检测到,同列数据中不同小写字母代表差异显著($P<0.05$)。

为了进一步明确上述主要挥发性风味成分中对风味的呈现有突出贡献的物质,对这些样品中的挥发性风味成分进行ROAV分析,火龙果发酵酒样品的ROAV见表4。由表4可知,9种发酵酒样品中ROAV>1的挥发性风味成分共14种,共有挥发性风味成分为4种,分别为乙酸-3-甲基丁酯、己酸乙酯、辛酸乙酯和(2Z)-2,3-丁二醇。样品G8中ROAV>1的物质共10种,含5种酯类物质(乙酸-3-甲基丁酯、己酸乙酯、辛酸乙酯、壬酸乙酯和辛酸异戊酯)、4种醇类物质[(2Z)-2,3-丁二醇、芳樟醇、香叶醇和2-十七醇]和1种芳香族化合物(2-甲基萘),其中壬酸乙酯、香叶醇和2-甲基萘为其独有。样品L8中ROAV>1的物质共7种,含5种酯类物质(2-甲基丁酸乙酯、3-甲基丁酸乙酯、乙酸-3-甲基丁酯、己酸乙酯和辛酸乙酯)和2种醇类物质[(2Z)-2,3-丁二醇和芳樟醇]。样品Z8中ROAV>1的物质共5种,含3种酯类物质(乙酸-3-甲基丁酯、己酸乙酯和辛酸乙酯)和2种醇类物质[(2Z)-2,3-丁二醇和2-庚醇],其中2-庚醇为其独有。样品G9中ROAV>1的物质共8种,含5种酯类物质(2-甲基丁酸乙酯、3-甲基丁酸乙酯、乙酸-3-甲基丁酯、己酸乙酯和辛酸乙酯)、3种醇类物质[(2Z)-2,3-丁二醇、芳樟醇和2-十七醇]。

样品L9中ROAV>1的物质共5种,含4种酯类物质(3-甲基丁酸乙酯、乙酸-3-甲基丁酯、己酸乙酯、辛酸乙酯)和1种醇类物质[(2Z)-2,3-丁二醇]。样品Z9中ROAV>1的物质共7种,含5种酯类物质(乙酸-3-甲基丁酯、己酸乙酯、辛酸乙酯、辛酸异戊酯和月桂酸乙酯)、2种醇类物质[(2Z)-2,3-丁二醇和2-十七醇],其中月桂酸乙酯为其独有。样品G10中ROAV>1的物质共5种,含3种酯类物质(乙酸-3-甲基丁酯、己酸乙酯和辛酸乙酯)、2种醇类物质[(2Z)-2,3-丁二醇和芳樟醇]。样品L10中ROAV>1的物质共5种,含4种酯类物质(乙酸-3-甲基丁酯、己酸乙酯、辛酸乙酯和辛酸异戊酯)、1种醇类物质[(2Z)-2,3-丁二醇]。样品Z10中ROAV>1的物质共5种,含3种酯类物质(乙酸-3-甲基丁酯、己酸乙酯和辛酸乙酯)、2种醇类物质[(2Z)-2,3-丁二醇和芳樟醇]。结果表明,乙酸-3-甲基丁酯、己酸乙酯、辛酸乙酯和(2Z)-2,3-丁二醇在火龙果发酵酒中稳定存在,是贵州红肉火龙果发酵酒的特征香气成分,不受采收季节和产地因素的影响。另外10种挥发性风味成分会受相应影响,综合来看,关岭产火龙果发酵酒的香气最馥郁,特别是关岭8月份产火龙果发酵酒的香气最馥郁,罗甸和贞丰产火龙果发酵酒的香气馥郁程度相差不大。

表4 火龙果发酵酒样品的相对气味活度值
Table 4 Relative odour active value of fermented dragon fruit wine samples

序号	挥发性化合物	香气特征	CAS	阈值/ (mg·L ⁻¹)	ROAV									
					G8	L8	Z8	G9	L9	Z9	G10	L10	Z10	
酯类														
1	2-甲基丁酸乙酯	果香、甜香	7452-79-1	0.003 ^[10]	n.d	5.55	n.d	5.61	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
2	3-甲基丁酸乙酯	菠萝香、苹果香	108-64-5	0.003 ^[10]	n.d	4.60	n.d	5.77	13.59	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
3	乙酸-3-甲基丁酯	果香、香蕉香	123-92-2	0.03 ^[20]	10.32	10.13	7.19	7.70	4.61	5.19	4.55	10.31	6.45	

续表

序号	挥发性化合物	香气特征	CAS	阈值/ (mg·L ⁻¹)	ROAV								
					G8	L8	Z8	G9	L9	Z9	G10	L10	Z10
4	己酸乙酯	甜香、菠萝香	123-66-0	0.014 ^[19]	94.19	53.47	65.12	80.52	74.23	93.09	40.73	29.47	42.81
5	辛酸乙酯	菠萝、白兰地	106-32-1	0.05 ^[19]	58.18	38.18	33.99	79.58	56.93	101.25	11.50	10.69	14.60
6	壬酸乙酯	坚果、酒香	123-29-5	0.377 ^[21]	1.03	n.d	n.d	<1	<1	<1	n.d	n.d	<1
7	辛酸异戊酯	巧克力、鸢尾花	2035-99-6	0.07 ^[22]	3.06	<1	n.d	<1	<1	1.22	<1	6.77	<1
8	月桂酸乙酯	花香、甜味	106-33-2	0.5 ^[23]	<1	<1	<1	<1	<1	1.49	<1	<1	<1
醇类													
9	2-庚醇	N.A	543-49-7	0.065 ^[24]	n.d	<1	7.01	<1	<1	n.d	n.d	n.d	<1
10	(Z)-2,3-丁二醇	奶油、黄油	24347-58-8	0.095 ^[24]	2.92	2.55	4.43	3.10	4.57	1.75	9.60	1.87	17.86
11	芳樟醇	柠檬、橙子	78-70-6	0.03 ^[19]	1.87	1.37	<1	1.48	<1	<1	1.41	<1	1.48
12	香叶醇	花香、桃子	106-24-1	0.075 ^[25]	1.44	n.d	n.d	<1	<1	<1	<1	n.d	<1
13	2-十七醇	N.A	91-57-6	0.003 ^[26]	5.24	n.d	n.d	5.81	n.d	7.03	n.d	n.d	n.d
芳香族化合物													
14	2-甲基萘	N.A	90-12-0	0.02 ^[27]	3.60	<1	n.d	n.d	<1	<1	n.d	<1	<1

注：“*”参考水溶液中的阈值；“n.d”表示未检测到；“N.A”表示未查询到；香气特征参考“<http://www.thegoodscentscompany.com/>”。

3 结论

本研究利用智能感官技术(电子鼻和电子舌)及顶空固相微萃取-气质联用技术(HS-SPME-GC-MS)对贵州产地(关岭、罗甸和贞丰)和采收时间(8月、9月和10月)的火龙果所酿造发酵酒的挥发性风味成分进行了系统的研究。结果表明,火龙果发酵酒富含甲基类化合物、无机硫化物、长链烷烃、醇类和醛酮类、氮氧化物,8月份采收火龙果的发酵酒酸味响应值高于9月和10月。样品中共检出67种挥发性化合物,包括酯类35种、醇类17种、酸类2种、芳香族化合物3种、醛酮类3种和其他类7种。其中,ROAV>1的挥发性风味成分共14种,贵州产红肉火龙果发酵酒的特征香气成分为乙酸-3-甲基丁酯、己酸乙酯、辛酸乙酯和(Z)-2,3-丁二醇。关岭产火龙果发酵酒的香气最馥郁,特别是关岭8月份产火龙果发酵酒的香气最馥郁,罗甸和贞丰产火龙果发酵酒的香气馥郁程度相差不大。采收季节对滋味和风味的影响大于产地因素,但二者对贵州红肉火龙果的特征挥发性风味成分没有影响。本研究对贵州省火龙果发酵酒的品质控制具有参考价值,同时对火龙果发酵酒行业的发展提供了有价值的参考。

参考文献:

- [1] YU Z H, LI J Q, HE S C, et al. Winemaking characteristics of red-fleshed dragon fruit from three locations in Guizhou Province, China[J]. **Food Sci Nutr**, 2021, 9(5): 2508-2516.
- [2] WU Y W, XU J, HE Y Z, et al. Metabolic profiling of pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) during fruit development and maturation[J]. **Molecules**, 2019, 24(6): 1114.
- [3] CAI H Y, YANG X H, WANG K J, et al. Is forest restoration in the southwest China karst promoted mainly by climate change or human-induced factors?[J]. **Remote Sens**, 2014, 6(10): 9895-9910.
- [4] ARIVALAGAN M, KARUNAKARAN G, ROY T K, et al. Biochemical and nutritional characterization of dragon fruit (*Hylocereus species*)[J]. **Food Chem**, 2021, 353: 129426.
- [5] RAMLI N S, ISMAIL P, and RAHMAT A. Influence of conventional and ultrasonic-assisted extraction on phenolic contents, betacyanin contents, and antioxidant capacity of red dragon fruit (*Hylocereus polyrhizus*)[J]. **Sci World J**, 2014: 964731.
- [6] CHANG Y J, PONG L Y, HASSAN S S, et al. Antiviral activity of betacyanins from red pitahaya (*Hylocereus polyrhizus*) and red spinach (*Amaranthus dubius*) against dengue virus type 2 (GenBank accession no. MH488959)[J]. **Access Microbiol**, 2019, 2(1): acmi000073.
- [7] JOSHI M, PRABHAKAR B. Phytoconstituents and pharmaco-therapeutic benefits of pitaya: A wonder fruit[J]. **J Food Biochem**, 2020, 44(7): e13260.
- [8] HARAHAH N S, AMELIA R. Red dragon fruit (*Hylocereus polyrhizus*) extract decreases lactic acid level and creatine kinase activity in rats receiving heavy physical exercise[J]. **Maced J Med Sci**, 2019, 7(14): 2232-2235.
- [9] HARTONO M R, SUARDITA K, YULIATI A. Proliferation and osteogenic differentiation of bone marrow-derived mesenchymal stem cell after exposure to red flesh dragon fruit extract[J]. **Dent Res J**, 2020, 17(2): 107-113.
- [10] TOKTAY E, YAYLA M, SAHIN L, et al. The effects of dragon fruit (*Hylocereus polyrhizus*) extract on indomethacin-induced stomach ulcer in rats[J]. **J Food Biochem**, 2022, 46(9): e14274.
- [11] CHEOK A, XU Y, ZHANG Z, et al. Betalain-rich dragon fruit (pitaya) consumption improves vascular function in men and women: a double-blind, randomized controlled crossover trial[J]. **Am J Clin Nutr**, 2022, 115(5): 1418-1431.
- [12] CHEOK A, XU Y, ZHANG Z, et al. Betalain-rich dragon fruit (pitaya) consumption improves vascular function in men and women: a double-blind, randomized controlled crossover trial[J]. **Am J Clin Nutr**, 2022, 115(5): 1418-1431.
- [13] 李凯妮,毛曦庆,林雪,等. 梅奇酵母与酿酒酵母混合发酵对火龙果酒

- 风味的影响[J]. 食品研究与开发, 2021, 42(10): 54-60.
- [14] 程志华, 龚霄, 袁源, 等. 红心火龙果酒发酵特性的研究[J]. 酿酒科技, 2018(9): 17-21.
- [15] 陈烁. 红曲火龙果酒加工工艺研究[D]. 贵阳: 贵州大学, 2018.
- [16] 李凯, 王金晶, 李永仙, 等. 红心火龙果酒特征香气分析[J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(13): 217-223.
- [17] 李永杰, 唐月, 李慧瑶, 等. 基于智能感官和气相色谱-质谱联用技术研究食盐添加量对风干肠风味特征的影响[J]. 食品科学, 2022, 43(4): 1-7.
- [18] 刘晓柱, 赵湖冰, 李银凤, 等. 一株刺梨葡萄汁有抱汉逊酵母的鉴定及酿酒特性分析[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(8): 97-104.
- [19] FERREIRA V, ARDANUY M, LÓPEZ R, et al. Relationship between flavor dilution values and odor unit values in hydroalcoholic solutions: role of volatility and a practical rule for its estimation[J]. *J Agr Food Chem*, 1998, 46(10): 4341-4346.
- [20] MOYANO L, ZEA L, MORENO J A, et al. Evaluation of the active odorants in Amontillado sherry wines during the aging process[J]. *J Agr Food Chem*, 2010, 58(11): 6900-6904.
- [21] PLOTTO A, BARNES K W, GOODNER K L. Specific anosmia observed for β -ionone, but not for α -ionone: significance for flavor research[J]. *J Food Sci*, 2006, 71(5): S401-S406.
- [22] ESCUDERO A, GOGORZA B, MELÚS M A, et al. Characterization of the aroma of a wine from Maccabeo. Key role played by compounds with low odor activity values[J]. *J Agr Food Chem*, 2004, 52(11): 3516-3524.
- [23] ZEA L, MOYANO L, MORENO J, et al. Discrimination of the aroma fraction of Sherry wines obtained by oxidative and biological ageing[J]. *Food Chem*, 2001, 75(1): 79-84.
- [24] GIRI A, OSAKO K, OHSHIMA T. Identification and characterization of headspace volatiles of fish miso, a Japanese fish meat based fermented paste, with special emphasis on effect of fish species and meat washing [J]. *Food Chem*, 2010, 120(2): 621-631.
- [25] PYYSSALO T, SUIHKO M, HONKANEN, E. Odour thresholds of the major volatiles identified in cloudberry (*Rubus chamaemorus* L.) and arctic bramble (*Rubus arcticus* L.)[J]. *Lebensm Wiss Technol*, 1977, 10: 36-39.
- [26] VAN GEMERT L J. Odour thresholds-Compilations of odour threshold values in air, water and other media[M]. Utrechts: Oliemans Punter & Partners BV, 2011.
- [27] LILLARD D A, POWERS J J. Aqueous odor thresholds of organic pollutants in industrial effluents[R]. Corvallis: Environmental protection agency, 1975.