

GC-IMS 法比较不同酒龄猕猴桃酒特征香气物质差异

宋艺君¹, 庞来祥², 袁筱², 庞柏均², 郭涛³

(1. 陕西中医药大学 药学院, 陕西 咸阳 712046; 2. 陕西百贤酒业有限公司, 陕西 宝鸡 722305; 3. 空军第九八六医院, 陕西 西安 710054)

摘要: 比较不同酒龄猕猴桃酒挥发性特征香气物质的差异, 为建立不同酒龄猕猴桃酒的鉴别方法和进一步建立不同酒龄猕猴桃酒整体品质评价的新方法提供思路。对不同酒龄猕猴桃酒的挥发性物质, 采用气相色谱-离子迁移谱(gas chromatography-ion mobility spectrometry, GC-IMS)进行检测并比较成分变化, 结合主成分分析(PCA)和“最近邻”指纹分析分析其挥发性物质的差异。GC-IMS 指纹图谱显示, 不同酒龄猕猴桃酒的挥发性物质存在差异, 明确性的挥发性物质有单体及部分物质的二聚体共 29 种; 糠醛、3-甲基丁醛、2-甲基丁酸乙酯、异戊酸乙酯等可作为 5 年酒龄猕猴桃酒的特征挥发性物质; 苯甲醛可作为 4 年酒龄猕猴桃酒的特征挥发性物质; 乙酸丁酯、乙酸异丁酯、乙酸等可作为 3 年酒龄猕猴桃酒的特征挥发性物质。PCA 和“最近邻”指纹分析结果显示, 各组样品分离度良好。GC-IMS 技术结合聚类分析方法证明不同酒龄猕猴桃酒所含挥发性物质存在差异, 研究结果可为不同酒龄猕猴桃酒的辨识提供一定的思路。

关键词: 猕猴桃酒; 香气物质; 主成分分析; “最近邻”指纹分析; 气相色谱-离子迁移谱

中图分类号: TS 264 文章编号: 1673-1689(2023)02-0058-08 DOI: 10.3969/j.issn. 1673-1689.2023.02.009

Difference of Specific Aroma Substances in Kiwifruit Wine of Different Ages Compared by GC-IMS

SONG Yijun¹, PANG Laixiang², YUAN Xiao², PANG Baijun², GUO Tao³

(1. College of Pharmacy, Shaanxi University of Chinese Medicine, Xianyang 712046, China; 2. Shaanxi Baixian Wine Industry Co. Ltd., Baoji 722305, China; 3. Air Force 986 Hospital, Xi'an 710054, China)

Abstract: The differences of volatile specific aroma substances in kiwifruit wine of different ages were compared. This study provided new ideas to establish the identification methods of kiwifruit wine of different ages, and to further establish the quality evaluation of kiwifruit wine of different ages. Gas chromatography-ion mobility spectrometry (GC-IMS) was used to detect the volatile substances in kiwifruit wine of different ages, and to compare the changes in compositions. Principal Component Analysis (PCA) and "Nearest Neighbor" Fingerprint Analysis (NNFA) were used to analyze the differences of volatile substances. GC-IMS fingerprints showed that there were differences in the volatile substances in kiwifruit wine of different ages. There were 29 kinds of

收稿日期: 2022-01-07

基金项目: 国家自然科学基金项目(82104395); 陕西省科技厅青年项目(2021JQ-736)。

作者简介: 宋艺君(1982—), 女, 博士, 副教授, 硕士研究生导师, 主要从事中药饮片炮制规范化和炮制原理方面的研究。

E-mail: songyijun200506@126.com

definite volatile compounds, including monomers and dimers of some substances. Furfural, 3-methylbutanal, ethyl 2-methylbutanoate and ethyl 3-methylbutyrate could be used as the specific volatile substances of five-year-old kiwifruit wine. Benzaldehyde could be used as the specific volatile substances of four-year-old kiwifruit wine. Butyl acetate, 2-methylpropyl acetate and acetic acid could be used as the specific volatile substances of three-year-old kiwifruit wine. The results of PCA and NNFA showed that the samples were well separated. The GC-IMS technology combined with cluster analysis could identify the differences of volatile substances in kiwifruit wine of different ages, providing ideas for the identification of kiwifruit wine of different ages.

Keywords: Kiwifruit wine, aroma substances, Principal Component Analysis (PCA), “Nearest Neighbor” Fingerprint Analysis (NNFA), Gas Chromatography-Ion Mobility Spectrometry (GC-IMS)

猕猴桃 (*Actinidia chinensis* Planch), 来源于猕猴桃科 (Actinidiaceae) 猕猴桃属 (*Actinidia*), 又名长寿果、奇异果等^[1], 属于浆果类果实^[2]。其富含 VC、VB、VE 等维生素和精氨酸、谷氨酸等氨基酸^[3], 营养价值高。我国猕猴桃资源丰富, 产量大, 其中陕西省是我国猕猴桃生产第一大省^[4]。新鲜的猕猴桃上市时间比较集中, 贮藏成本高, 易腐烂^[5], 因此加强其深加工产品研发有重要意义。目前, 猕猴桃除鲜食外, 可制成果汁、果酒及果脯等产品^[6]。猕猴桃酒营养丰富, 清亮透明, 酸度适宜, 有较强抗氧化活性等保健功能^[7]。猕猴桃所含营养物质和香气特性是评价猕猴桃酒品质的重要指标, 其中香气特性可从感官直接影响消费者的接受度和整体评价。关于猕猴桃酒产品的研究, 目前主要集中在酵母筛选、酿造工艺优化、抗氧化性能研究等方面^[8-9], 对猕猴桃酒的香气特性研究报道较少。

气相-离子迁移谱 (Gas Chromatography-Ion Mobility Spectrometry, GC-IMS) 是近年来发展起来的新型检测方法, 其原理是各种样品蒸气离子的迁移率互不相同, 从而导致在迁移过程中不同的样品离子通过电场的时间各不相同, 由此实现样品分离^[10]。近年来, 该技术由于灵敏度高等优点, 已开始应用于酒类^[11]、食品科学^[12]、农业领域等^[13]方面, 其中在酒的香气检测方面应用广泛, 比如不同贮存时间酒的识别^[14-15]、不同酿造方式的比较^[16]、不同酿造因素考察^[17-18]、产地识别研究^[19]、酒的种类判别^[20]、不同发酵阶段研究^[21]、不同原料来源研究^[22]、酒的酿造过程研究^[23]等。

作者以徐香猕猴桃为原料酿造猕猴桃酒, 采用

GC-IMS 用于不同酒龄猕猴桃酒的香气物质检测, 可将传统香气鉴别经验数据化, 以期找出不同酒龄猕猴桃酒的香气差异物质, 并将其作为有效判断不同酒龄猕猴桃酒和对其整体品质评价的新标准, 研究结果可为建立不同酒龄猕猴桃酒的整体品质评价方法提供参考。

1 材料与方法

1.1 仪器与设备

FlavourSpec® 风味分析仪: 德国 GAS 公司; HAMAG 20 mL 磁盖螺口顶空瓶: 浙江哈迈科技有限公司; Acrichi 自动顶空进样器: 北京聚芯追风科技有限公司; 精密酒精计: 河间市振岩仪器公司。

1.2 样品

同一批次不同酒龄的猕猴桃酒: MHT-01 (5 年), MHT-02 (4 年), MHT-03 (3 年), MHT-04 (2 年), MHT-05 (1 年), 乙醇体积分数 10%。

1.3 实验条件

将猕猴桃酒样品 1 mL 置于顶空进样瓶 (20 mL) 中, 60 °C、500 r/min 孵育 10 min, 经过顶空进样后, 用气相离子迁移谱仪 FlavourSpec® 测定, 每个样品平行测试 3 次。MXT-WAX 色谱柱 (30 m×0.53 mm, 1 μm), N₂ 作为载气/漂移气, 载气流量: 0~2 min, 2 mL/min; 2~10 min, 2~10 mL/min; 10~20 min, 10~100 mL/min; 20~30 min, 100 mL/min。漂移气流量: 150 mL/min; IMS 温度: 45 °C; 进样针温度: 85 °C; 柱温: 60 °C; 进样体积: 100 μL。

1.4 数据处理

本仪器配套的分析软件包括 VOCal 和其对应

的 4 款插件，可针对同一样品从不同角度进行分析。见表 1。

表 1 软件、插件的作用

Table 1 Functions of software and plug-ins

软件名称	作用
VOCal	用于数据的定性定量和分析谱图的查看，对物质进行定性分析可应用软件内置的 NIST 数据库和 IMS 数据库。图中每一个点代表一种挥发性物质，对其建立标准曲线后可进行定量分析
Reporter 插件	直接对比样品间的谱图差异（差异谱图、二维俯视图和三维谱图）
Gallery Plot 插件	指纹图谱对比，直观且定量地比较不同样品间挥发性物质差异
Dynamic PCA 插件	动态主成分分析，用于样品的聚类分析及快速确定未知样品的种类
Fingerprint Similarity Analysis 插件	最近邻指纹分析

2 结果与分析

2.1 不同酒龄猕猴桃酒的 GC-IMS 谱图分析

样品之间的谱图差异可采用 VOCal 软件的 Reporter 插件直接进行对比，可对比不同酒龄猕猴桃酒的特征挥发性物质，Z 轴代表峰强度（V），X 轴代表的是归一化处理后的离子相对迁移时间，Y 轴代表的是气相色谱的保留时间（S），见图 1。从图中

可直观看出不同酒龄猕猴桃酒中挥发性成分存在差异，但是由于不利于观察，因此进行差异对比时取俯视图。

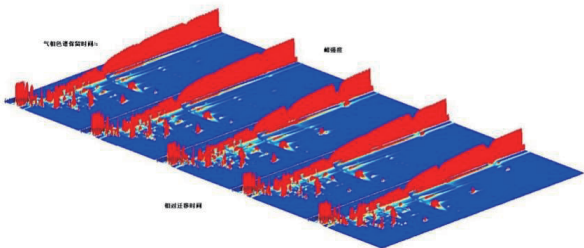


图 1 不同酒龄猕猴桃酒挥发性物质的 GC-IMS 三维谱图
Fig. 1 Three-dimensional chromatogram of GC-IMS detection of volatile substances in kiwifruit wine of different ages

采用 VOCal 软件附带的 Reporter 插件，可对样品之间的谱图差异进行对比，可直接对比 1、2、3、4、5 年酒龄的猕猴桃酒的特征挥发性物质，横坐标显示的是归一化处理后的离子相对迁移时间，纵坐标显示的是气相色谱的保留时间（s）。蓝色为整个图的背景色，在横坐标 1.0 处的红色竖线代表反应离子峰（RIP 峰，归一化处理）。RIP 峰两侧的每一个点代表一种挥发性物质。物质的质量浓度以颜色深浅来显示，颜色越深质量浓度越大，即白色代表低质量浓度，红色代表高质量浓度，见图 2。从图 2 可看出，1~2 年酒龄的猕猴桃酒中挥发性成分很相似，3~5 年酒龄的猕猴桃酒与 1~2 年酒龄的猕猴桃酒相比挥发性成分存在明显差异。

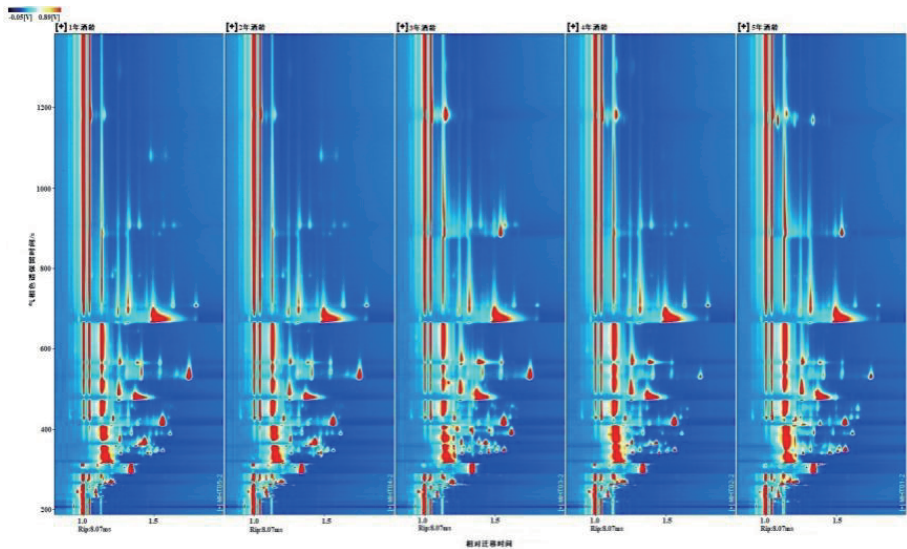


图 2 不同酒龄猕猴桃酒的挥发性物质对比图

Fig. 2 Comparison diagram of volatile substances in kiwifruit wine of different ages

为了更加显著地比较不同酒龄猕猴桃酒之间的挥发性物质的差异,可采用差异对比模式:选取其中一个样品(MHT-05)的谱图作为对照,其他样品谱图相应减除对照。如果两个样品的挥发性物质趋于统一,则减除后的背景色是白色,而蓝色代表该物质的浓度低于对照,红色代表该物质的浓度高于对照,见图3。通过差异对比图可更加明显地发现,1年酒龄(MHT-05)和2年酒龄(MHT-04)的猕猴桃酒的挥发性成分很相似,而3~5年酒龄的猕猴桃酒相比1~2年酒龄的猕猴桃酒挥发性成分存在明显差异。

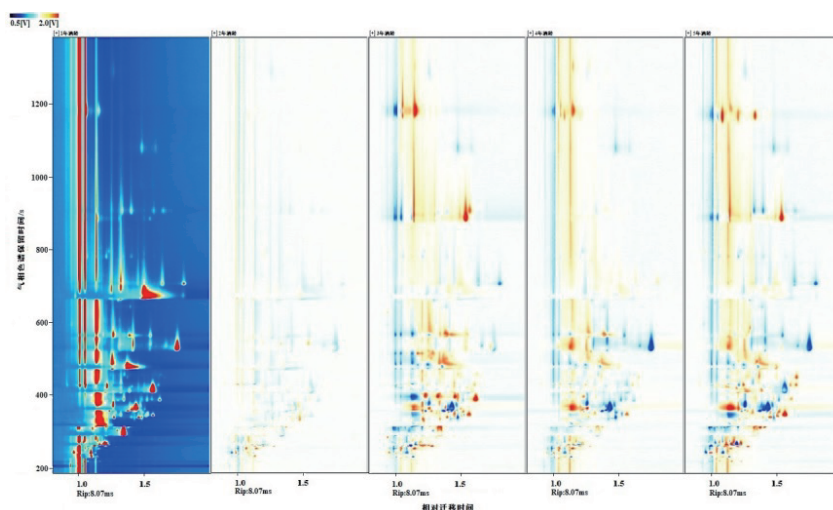


图3 以MHT-05作参比扣减的不同酒龄猕猴桃酒的挥发性物质差异对比图

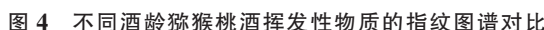
Fig. 3 Difference diagram of volatile substances in kiwifruit wine of different ages using MHT-05 as reference deduction

通过初步对比图4指纹图谱可以看出,不同酒龄猕猴桃酒所含挥发性物质既有共同的区域,也有各自的特征峰区域。总体来说,1年和2年酒龄的猕猴桃酒比较相似,可能是因为两个样品酒龄短,挥发性物质暂时还未发生明显变化;而3~5年酒龄的猕猴桃酒相比1~2年酒龄的猕猴桃酒差异较大,可能是因为随着酒龄的延长,3个样品的挥发性物质在贮存过程中发生了明显变化,出现了特征香气物质。其中A区域中的物质随着酒龄延长质量浓度上升,且在MHT-01中质量浓度达到最高,包括2-甲基丁酸乙酯、3-甲基丁醛、糠醛(单体和二聚体)、异戊酸乙酯,还有编号为3的物质,总共6种物质,可作为5年酒龄猕猴桃酒(MHT-01)的特征挥发性物质;A区域左侧的苯甲醛在酒龄为4年的猕猴桃酒中的质量浓度远高于其他酒龄的猕猴桃酒,可作为4年酒龄猕猴桃酒(MHT-02)的特征挥发性物质;B

2.2 不同酒龄猕猴桃酒的GC-IMS指纹图谱分析

为了明确猕猴桃酒不同酒龄样品具体哪些物质存在差异,采用VOCal软件附带的Gallery Plot插件,对猕猴桃酒的5个不同酒龄样品(每个样品平行3次)进行分析,所得二维图谱中所有的待分析峰自动生成指纹图谱,结果见图4。图中每一行的指纹图谱体现一个猕猴桃酒样品中选取的全部信号峰,每一列的指纹图谱体现同一挥发性物质在不同猕猴桃酒样品中的信号峰。从图4可以看出每个猕猴桃酒样品的完整挥发性物质信息以及不同猕猴桃酒样品所含挥发性物质的差异。

区域中的物质随酒龄延长质量浓度上升,在3年酒龄猕猴桃酒中质量浓度达到最高,之后又随酒龄延长质量浓度下降,包括乙酸丁酯、乙酸异丁酯、乙酸,还有编号为6、8、9、25的物质,总共7种物质,可作为3年酒龄猕猴桃酒(MHT-03)的特征挥发性物质;C区域中的物质随酒龄延长质量浓度呈上升趋势,且在5年酒龄猕猴桃酒质量浓度达到最高,包括异戊醇、异丁酸乙酯、丙酸乙酯,还有编号为7、17、21的物质,总共6种物质;D区域中的物质随酒龄延长质量浓度呈下降趋势,在1年和2年酒龄猕猴桃酒质量浓度基本一致,之后随酒龄延长质量浓度下降,包括辛酸乙酯、乙酸异戊酯、正己醇(单体和二聚体)、丁酸甲酯、丁酸乙酯,还有编号为23、16、12、5、20、24、2、26、19、22的物质,总共16种物质,其中辛酸乙酯等在猕猴桃酒贮藏到第3年时质量浓度大幅降低,乙酸异戊酯在猕猴桃酒贮藏到第



4 年时质量浓度大幅降低,正己醇(单体和二聚体)、丁酸甲酯和丁酸乙酯等在猕猴桃酒贮藏到第 5 年时质量浓度大幅降低;E 区域中的物质在不同酒龄的猕猴桃酒中质量浓度存在明显差异,包括乳酸乙酯、异丁醛、乙酸丙酯、正己酸乙酯、丙酮、丁醛、正丁醇、丙醛,还有编号为 1、15、13、11、4、18 的物质,总共 14 种物质;F 区域中的物质是不同酒龄猕猴桃酒共有的挥发性物质,包括乙酸乙酯、异丁醇、乙醇,还有编号为 10、14 的物质,总共 5 种物质。

根据猕猴桃酒样品挥发性物质的气相色谱保留时间和 IMS 迁移时间,以 C4-C9 正酮物质作为参考外标,计算每种挥发性物质的保留指数,对照 IMS 数据库和 NIST2014 数据库的定性功能对猕猴桃酒样品中的挥发性物质进行定性分析,结果见图 5。其中横坐标和纵坐标分别代表相对迁移时间和保留时间,由于数据库还在继续完善中,猕猴桃酒样品中检测到可定性的挥发性物质共 29 种(单体和二聚体),见图 5 和表 2 中相应编号物质。由定性结果可知,不同酒龄猕猴桃酒检中测出的部分挥发性物质酯类、醛类和醇类分别有 14 种、7 种和 6 种,另外有酮类和酸类物质各 1 种。根据图 3 中相应成分位点颜色深浅可初步明确各种挥发性物质质量浓度差异。

采用 Dynamic PCA 对不同酒龄猕猴桃酒的挥发性物质进行动态主成分分析,见图 6。该图可直观显示不同酒龄猕猴桃酒间的差异,以样品间的距离



Fig. 5 Qualitative analysis of volatile substances in kiwifruit wine of different ages (take MHT-01 as an example)

远近代表差异的明显程度,距离远则代表差异大,反之亦然。从图6可看出,MHT-05和MHT-04之间距离很近,代表1年和2年酒龄的猕猴桃酒中的挥发性物质存在较小的差异;1~2年酒龄的样品(MHT-05、MHT-04)和3~5年酒龄的样品(MHT-03、MHT-02、MHT-01)之间距离很远,表明相对于1~2年酒龄的猕猴桃酒,3~5年酒龄的猕猴桃酒中

表 2 不同酒龄猕猴桃酒挥发性物质的定性分析

Table 2 Qualitative analysis of volatile substances in kiwifruit wine of different ages

No.	化合物	CAS 号	分子式	分子量	保留指数	保留时间/ s	相对迁移 时间	备注
1	苯甲醛(benzaldehyde)	C100527	C ₇ H ₆ O	106.1	1 545.3	1 303.224	1.151 86	
2	糠醛(furfural)	C98011	C ₅ H ₄ O ₂	96.1	1 490.7	1 169.376	1.085 10	单体
3	糠醛(furfural)	C98011	C ₅ H ₄ O ₂	96.1	1 490.7	1 169.376	1.335 74	二聚体
4	乙酸(Acetic acid)	C64197	C ₂ H ₄ O ₂	60.1	1 496.2	1 182.246	1.147 48	
5	辛酸乙酯(Octanoic acid ethyl ester)	C106321	C ₁₀ H ₂₀ O ₂	172.3	1 449.8	1 078.200	1.480 30	
6	乳酸乙酯(Ethyl lactate)	C97643	C ₅ H ₁₀ O ₃	118.1	1 353.5	890.434	1.542 82	
7	正己酸乙酯(Ethyl hexanoate)	C123660	C ₈ H ₁₆ O ₂	144.2	1 237.3	709.289	1.798 94	
8	异戊醇(3-Methyl-1-butanol)	C123513	C ₅ H ₁₂ O	88.1	1 213.4	677.304	1.496 84	
9	正丁醇(butan-1-ol)	C71363	C ₄ H ₁₀ O	74.1	1 149.8	567.770	1.387 01	
10	乙酸异戊酯(Isoamyl acetate)	C123922	C ₇ H ₁₄ O ₂	130.2	1 129.0	531.214	1.750 64	
11	异丁醇(2-methyl-1-propanol)	C78831	C ₄ H ₁₀ O	74.1	1 097.1	479.514	1.380 34	
12	异戊酸乙酯(ethyl 3-methylbutyrate)	C108645	C ₇ H ₁₄ O ₂	130.2	1 074.8	451.702	1.658 48	
13	2-甲基丁酸乙酯(Ethyl 2-methylbutanoate)	C7452791	C ₇ H ₁₄ O ₂	130.2	1 057.2	430.865	1.653 67	
14	丁酸乙酯(ethyl butanoate)	C105544	C ₆ H ₁₂ O ₂	116.2	1 042.5	414.196	1.564 55	
15	乙酸异丁酯(2-methylpropyl acetate)	C110190	C ₆ H ₁₂ O ₂	116.2	1 019.1	389.029	1.612 40	
16	丁酸甲酯(methyl butanoate)	C623427	C ₅ H ₁₀ O ₂	102.1	997	366.684	1.429 83	
17	丙酸乙酯(Propanoic acid ethyl ester)	C105373	C ₅ H ₁₀ O ₂	102.1	962.8	341.429	1.454 32	
18	异丁酸乙酯(Ethyl isobutyrate)	C97621	C ₆ H ₁₂ O ₂	116.2	972.8	348.566	1.564 96	
19	乙酸乙酯(ethyl acetate)	C141786	C ₄ H ₈ O ₂	88.1	890.5	293.943	1.344 43	
20	异戊醛(3-Methylbutanal)	C590863	C ₅ H ₁₀ O	86.1	922.7	314.223	1.411 82	
21	丙酮(Propan-2-one)	C67641	C ₃ H ₆ O	58.1	840.0	264.808	1.115 81	
22	丙醛(Propanal)	C123386	C ₃ H ₆ O	58.1	822.2	255.189	1.145 94	
23	异丁醛(2-Methyl propanal)	C78842	C ₄ H ₈ O	72.1	835.9	262.538	1.279 35	
24	正己醇(1-Hexanol)	C111273	C ₆ H ₁₄ O	102.2	1 364.9	910.811	1.322 39	单体
25	正己醇(1-Hexanol)	C111273	C ₆ H ₁₄ O	102.2	1 363.7	908.644	1.642 39	二聚体
26	乙酸丁酯(butyl acetate)	C123864	C ₆ H ₁₂ O ₂	116.2	1 080.2	458.243	1.623 68	
27	乙醇(ethanol)	C64175	C ₂ H ₆ O	46.1	932.8	320.855	1.145 45	
28	丁醛(Butanal)	C123728	C ₄ H ₈ O	72.1	907.5	304.501	1.291 34	
29	乙酸丙酯(propyl acetate)	C109604	C ₅ H ₁₀ O ₂	102.1	982.0	355.280	1.481 74	

的挥发性物质发生了很大变化;不同酒龄样品平行样间距离紧密,代表样品平行性好;另外,降维后前两个主成分累计贡献率为 83%,表示可对原始数据特征进行较好表征。

采用 Fingerprint Similarity Analysis 插件对不同酒龄猕猴桃酒的挥发性物质进行“最近邻”指纹分析,见图 7。通过“最近邻”指纹分析,计算得到样本间的欧几里得距离(简称欧式距离),一般通过检索最小距离来找到“最近邻”,而通过观察与更远的群

体相比得到相对紧密的群体测量结果。从图 7 可以看出,不同酒龄猕猴桃酒挥发性物质聚类清晰,1~2 年酒龄的猕猴桃酒(MHT-05、MHT-04)和 3~5 年酒龄的猕猴桃酒(MHT-03、MHT-02、MHT-01)之间的欧式距离远,相似度较低,表明猕猴桃酒在酒龄 3 年及以上挥发性物质发生了很大变化,而 1 年酒龄(MHT-05)和 2 年酒龄(MHT-04)的猕猴桃酒相对集中,彼此之间相似度较高,表明 1~2 年酒龄的猕猴桃酒中的挥发性物质存在较小的差异。

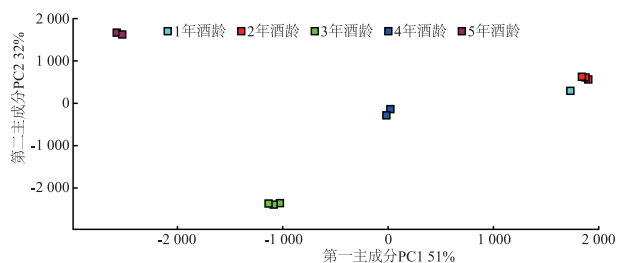


图6 不同酒龄猕猴桃酒挥发性物质的PCA分析

Fig. 6 PCA analysis of volatile substances in kiwifruit wine of different ages

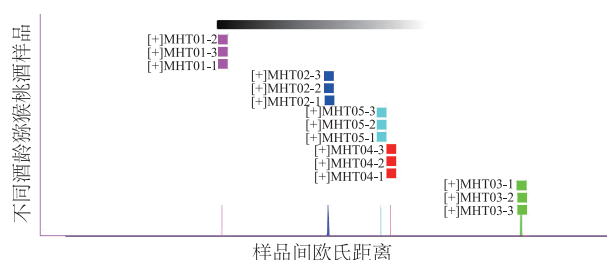


图7 不同酒龄猕猴桃酒挥发性物质的“最近邻”指纹分析

Fig. 7 “Nearest neighbor” fingerprint analysis of volatile substances in kiwifruit wine of different ages

3 结语

3.1 采用 GC-IMS 可有效区分不同酒龄猕猴桃酒

GC-IMS 指纹图谱显示不同酒龄猕猴桃酒的挥发性物质存在差异,可明确定性的挥发性物质有单体及部分物质的二聚体共 29 种,由于数据库有限,还有 26 种挥发性物质未能定性;糠醛、3-甲基丁醛、2-甲基丁酸乙酯、异戊酸乙酯等可作为 5 年酒龄猕猴桃酒的特征挥发性物质;苯甲醛可作为 4 年酒龄猕猴桃酒的特征挥发性物质;乙酸丁酯、乙酸异丁酯、乙酸等可作为 3 年酒龄猕猴桃酒的特征挥发性物质;乙酸乙酯、异丁醇、乙醇等可作为 5 个不

同酒龄猕猴桃酒共有的挥发性物质;PCA 和“最近邻”指纹分析结果显示,各组样品分离度良好。

3.2 可通过特征挥发性物质的香气检测有效区分不同酒龄猕猴桃酒

使用 FlavourSpec® 风味分析仪,样品不需要富集浓缩,仪器不需要真空条件,通过直接顶空进样的方式可快速检测得到不同酒龄猕猴桃酒所含挥发性物质,操作方便。经过结果分析可知,猕猴桃酒中主要有这几类挥发性物质,酯类、醛类、醇类和少量酸类、酮类等。1~5 年酒龄的猕猴桃酒所含挥发性物质区分明显,其中 1~2 年酒龄的猕猴桃酒和 3~5 年酒龄的猕猴桃酒挥发性物质发生了很大变化,而 1 年和 2 年酒龄的猕猴桃酒的挥发性物质存在较小的差异。分析其原因认为,猕猴桃酒中含有较多的挥发性物质,经过长时间的贮存(3~5 年)后其所含挥发性物质发生了明显的变化,出现了具有一定果香、花香和甜味的特征香气,所以 1~2 年的猕猴桃酒和 3~5 年的猕猴桃酒之间差异明显;而 1 年和 2 年酒龄的猕猴桃酒因为贮存时间比较短,挥发性物质并未发生很大的变化,所以彼此之间差异较小。

3.3 特征挥发性物质的香气检测在酒的贮存和整体品质评价方面的应用

本研究采用 GC-IMS 联用的方式,试图寻找一种判断不同酒龄猕猴桃酒的新方法和思路。通过对不同酒龄猕猴桃酒的分析检测发现,在 5 年酒龄猕猴桃酒检测到 6 种化合物,但由于数据库化合物不全,仅辨识出 5 种:糠醛(单体和二聚体)、3-甲基丁醛、2-甲基丁酸乙酯和异戊酸乙酯,从定量分析来看,异戊酸乙酯和糠醛(二聚体)在 5 年酒龄猕猴桃酒中质量浓度相对较高,因此当明显出现上述 2 种化合物时,可确定为 5 年酒龄猕猴桃酒,所以采用该方法可有效评价猕猴桃酒的品质。

参考文献:

- [1] 石瑞丽. 红心猕猴桃果酒酿造工艺研究[J]. 酿酒科技, 2017(6): 86-89.
- [2] MOTOHASHI N, SHIRATAKI Y, KAWASE M, et al. Cancer prevention and therapy with kiwifruit in Chinese folklore medicine: a study of kiwifruit extracts[J]. *Journal of Ethnopharmacology*, 2002, 81(3): 357-364.
- [3] 徐小彪, 张秋明. 中国猕猴桃种质资源的研究与利用[J]. 植物学通报, 2003, 20(6): 648-655.
- [4] 万景瑞, 蒋鹏飞, 史冠莹, 等. 三种发酵酒活性成分、抗氧化活性及其香气成分对比分析[J]. 食品工业科技, 2020, 41(21): 253-260.
- [5] BARBONI T, CANNAC M, CHIARAMONTI N. Effect of cold storage and ozone treatment on physicochemical parameters,

- soluble sugars and organic acids in *Actinidia deliciosa*[J]. **Food Chemistry**, 2010, 121(4): 946-951.
- [6] 陈忠军, 杨小冲, 赵洁, 等. 具高乙醇耐受力酵母菌的选育及其在猕猴桃果酒中的应用[J]. 食品工业科技, 2018, 39(2): 141-145.
- [7] TOWANTAKAVANIT K, PARK Y S, GORINSTEIN S. Quality properties of wine from Korean kiwifruit new cultivars[J]. **Food Research International**, 2011, 44(5): 1364-1372.
- [8] 舒学香, 周文, 朱克永, 等. 以茶叶提取物作抑菌剂制备猕猴桃酒工艺研究[J]. 食品科技, 2019, 44(6): 242-247.
- [9] 蒋成, 张旭, 刘孝平, 等. 猕猴桃酒专用酵母的筛选[J]. 基因组学与应用生物学, 2019, 38(4): 1689-1696.
- [10] 冯雪, 尹利辉, 金少鸿, 等. 离子迁移谱及其在药学领域的应用[J]. 药物分析杂志, 2013, 33(7): 1109-1114.
- [11] SIYING LIA, HUAFENG YANG, HEHE TIANA, et al. Correlation analysis of the age of brandy and volatiles in brandy by gas chromatography-mass spectrometry and gas chromatography-ion mobility spectrometry[J]. **Microchemical Journal**, 2020, 157: 1-8.
- [12] KEWEI LIU, CHAO ZHANG, JINYONG XU, et al. Research advance in gas detection of volatile organic compounds released in rice quality deterioration process[J]. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, 2021, 20:5802-5828.
- [13] 陈彦憬, 于建娜, 敬国兴, 等. 气相色谱 - 离子迁移谱技术在农业领域的应用[J]. 分析试验室, 2020, 39(12): 1480-1488.
- [14] 何菲, 段佳文, 蒋英丽, 等. 采用 GC-IMS 比较不同贮存时间酱香型白酒的挥发性成分特征[J]. 食品与发酵工业, 2022, 48(1): 233-240.
- [15] KAI CHEN, SIYING LI, HUAFENG YANG, et al. Feasibility of using gas chromatography-ion mobility spectrometry to identify characteristic volatile compounds related to brandy aging[J]. **Journal of Food Composition and Analysis**, 2021, 98: 1-11.
- [16] HUAMIN LI, DONGQI JIANG, WENLI LIU, et al. Comparison of fermentation behaviors and properties of raspberry wines by spontaneous and controlled alcoholic fermentations[J]. **Food Research International**, 2020, 128: 1-10.
- [17] 范威威, 林熙, 龚霄, 等. 基于顶空气相 - 离子迁移谱技术对不同酵母发酵的百香果果啤香气比较[J]. 食品工业科技, 2022, 43(7): 325-332.
- [18] 张宝香, 舒楠, 金宇宁, 等. 不同果胶酶处理北冰红冰葡萄汁酿制北冰红冰酒香气成分分析[J]. 酿酒科技, 2020, 12: 38-43.
- [19] 祁兴普, 陈通, 刘萍, 等. 基于气相离子迁移谱黄酒产地识别的研究[J]. 食品工业科技, 2019, 40(22): 273-276.
- [20] 龚霄, 周伟, 李积华, 等. 基于静态顶空气相离子迁移谱技术的果啤种类判别[J]. 食品工业科技, 2021, 42(7): 296-301.
- [21] ZHONGSHENG TANG, XINAN ZENG, MARGARET A. BRENNAN, et al. Characterization of aroma profile and characteristic aromas during lychee wine fermentation[J]. **Journal of Food Processing and Presevation**, 2019, 43: 1-14.
- [22] HAN X Y, PENG Q, YANG H Y, et al. Influence of different carbohydrate sources on physicochemical properties and metabolites of fermented greengage (*Prunus mume*) wines[J]. **LWT-Food Science and Technology**, 2020, 121: 1-9.
- [23] 张卜升, 高杏, 闫昕, 等. 基于 GC-IMS 技术分析石榴果酒酿制过程中挥发性风味成分的变化[J]. 食品与发酵工业, 2022, 48(7): 252-257.