

几种水果游离态和结合态的香气物质分析

何引¹, 朱丽霞^{1,2}, 张军¹

(1. 塔里木大学生命科学学院, 新疆阿拉尔 843300)

(2. 南疆特色农产品深加工兵团重点实验室, 新疆阿拉尔 843300)

摘要: 本论文利用固相微萃取结合气相色谱-质谱联用法 (SPME-GC-MS) 测定成熟期草莓、葡萄、苹果的结合态与游离态香气物质进行对比分析, 结果表明三种水果结合态香气物质与游离态香气物质较为丰富, 其中草莓结合态香气物质共检测出 13 种, 游离态香气物质为 9 种; 葡萄结合态香气物质共检出 8 种, 游离态香气物质为 9 种, 苹果结合态香气物质共检出 13 种, 游离态香气物质为 13 种。经主成分分析, 草莓的主要香气物质为乙酸苯乙酯、反式-肉桂酸甲酯、1-戊醇, 葡萄的主要香气物质为乙酸异戊酯、1-戊醇、2-己烯醛, 而苹果主要香气物质主要为 1-己醇、2-甲基-1-丁醇、乙酸苯乙酯、1-己醛、丁酸乙酯、正己酸乙酯、2-甲基丁基乙酸酯。草莓、葡萄、苹果的游离态与结合态香气物质首次对比分析, 并得出各自主要香气物质, 为其形成及受环境因子作用而变化规律的研究提供基础性参考, 同时为后期研究贮藏阶段变化奠定基础。

关键词: 水果; 游离态香气物质; 结合态香气物质; 气相色谱-质谱联用仪

文章编号: 1673-9078(2019)010-279-285

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2019.10.038

Analysis of Free and Bound Aroma Compounds of Three Fruits

HE Yin¹, ZHU Li-xia^{1,2}, ZHANG Jun¹

(1.College of Life Science, Tarim University, Alar 843300, China)(2.Xinjiang Production and Construction Corps Key Laboratory to Process of Agricultural Livestock Products in Southern Xinjiang, Tarim University, Alar 843300, China)

Abstract: In this work, solid phase microextraction combined with gas chromatography-mass spectrometry (SPME-GC-MS) was used to determine the free and bound aroma compounds of strawberry, grape and apple in mature stage. The results showed that the free and bound aroma compounds of the three fruits were abundant. The 13 kinds of strawberry bound aroma substances and 9 kinds of free aroma compounds were detected. The 8 kinds of grape bound aroma compounds and 9 kinds of free aroma compounds were detected. and The 13 kinds of apple bound aroma compounds and 13 kinds of free aroma compounds were detected. According to principal component analysis, the main aroma compounds of strawberry were phenylethyl acetate, trans-methyl cinnamate and 1-pentanol. The main aroma compounds of grape were isoamyl acetate, 1-pentanol and 2-hexenal. The main aroma compounds of apple were mainly 1-hexanol, 2-methyl-1-butanol, phenylethyl acetate, 1-hexenal, ethyl butyrate, ethyl n-hexanoate, 2-methylbutyl Acid ester. The comparison and analysis of The free and bound aroma compounds of strawberry, grape and apple were compared and analyzed to obtain their main aroma compounds. These results could provide a basic reference for the study of its formation and the changes of environmental factors. It also provided a foundation for the later study of storage changes basis.

Key words: fruit; free aroma compounds; bound aroma compounds; GC-MS

挥发性成分其不同比例的组合确定了一种水果的香气, 不同产地的同种水果存在共同的香气特征, 但整体香气的异同取决于关键挥发性物质的比例以及是否存在特殊成分, 这些关键香气成分包括单萜、倍半萜、挥发性酚及衍生物、以及来源于脂代谢、氨基酸代谢的挥发性物质等^[1], 果实的香气成分主要包括结合态与游离态两种形式, 游离态香气具有挥发性, 而

收稿日期: 2019-06-17

基金项目: 新疆兵团科技攻关项目 (2018AB042)

作者简介: 何引 (1993-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 农产品加工及贮藏

通讯作者: 朱丽霞 (1975-), 女, 教授, 研究方向: 农产品加工及贮藏

结合态香气不易挥发、嗅觉不易感知, 结合的形式大致可分为糖苷结合和氨基酸结合, 结合态前体物分为单糖苷和双糖苷, 在一些酶或者酸性环境的作用下释放出挥发性物质, 对于水果的整体香气具有较大贡献^[2], 并且结合态香气成分也被称为风味前体物^[3], 目前关于苹果的香气已检测出 350 多种成分香气, 主要有醇、酯、醛和烃类等, 根据苹果香气成分的组成可以将其分为“甜香型”和“青香型”两大类, 其中酯类主要表现为“甜香型”, 而醛类、烯烃类以及醇类主要表现为“青香型”^[4]。

有研究发现葡萄果实的香气成分按代谢路径可分为四大类^[5]: 来源于脂肪酸代谢路径的挥发性物质有

脂肪醛、酸、醇以及脂肪醇的脂肪酸酯等,草莓一直以来被公认为具有非常丰富香气物质的水果,综合国内和国外相关的研究文献发现:人工养殖草莓和野生草莓果实中共含有 360 多种挥发物成分,主要包括酯类、酮类、醇类、醛类和酸类以及硫化物等,但普遍认为酯类是决定鲜草莓香味的主要成分^[6],目前对于三种的水果报道较多,但主要集中于游离态香气成分的测定。由此,本文将对成熟期的草莓、葡萄、苹果的结合态与游离态香气成分在相同实验条件下进行分离鉴定,进一步了解三种水果在香气成分与含量上的差异性,探讨三种水果主要香气成分,为其形成及受环境因子作用而变化规律的研究提供基础性参考,同时为后期研究贮藏阶段变化奠定基础。

1 材料与方法

1.1 原料

2018 年 11 月 21 日及 2019 年 5 月 15 日于新疆阿拉尔市塔里木大学市场购买的苹果(红富士)与新鲜草莓(红颜)、以及 2018 年 10 月 10 日于新疆阿瓦提县购买的葡萄(和田红),将购买的样品立即加入液氮后放入-80℃中密封冻存待测。

1.2 主要仪器设备

主要试剂:液氮、聚乙烯吡咯烷酮(PVPP)、D-葡萄糖酸内酯、甲醇、柠檬酸、糖苷酶 AR2000、氯化钠等分析纯试剂、4-甲基-2-戊醇标品(纯度≥98%)、二氯甲烷(色谱纯)。

主要仪器:低温冷冻离心机,上海安亭科学仪器厂/TGL-20br;旋转蒸发器,上海亚荣生化仪器厂/RE-30000;恒温水浴锅,北京市永光明医疗仪器厂;磁力加热搅拌台,桂宁(上海)实验器材有限公司;固相微萃取手动进样手柄、萃取头,上海安普实验科技股份有限公司;7890B-7000D 型气相色谱-质谱连用仪(GC-MS),安捷伦科技(中国)有限公司。

1.3 实验方法

1.3.1 萃取方法

将草莓果实称取 50 g,液氮速冻,低温研磨至粉状,加入 1 g PVPP,用以去除多酚、防止样品氧化,再加入 0.5 g D-葡萄糖酸内酯,用以抑止糖苷酶活性,搅拌均匀放置于 4℃冰箱静置浸渍 2 h 后,迅速在 4℃、转速为 2000 r/min 条件下,离心 10 min,得到澄清果汁。

游离态:上述得到的澄清果汁为待测游离态香气

物质。

结合态:固相萃取柱依次经 10 mL 甲醇和 10 mL 水活化后,加入 2 mL 澄清果汁样品。经 2 mL 水洗脱去除一些糖、酸等低分子量的极性化合物后,加入 5 mL 二氯甲烷洗脱,去除大部分游离态香气物质的干扰,最后用 20 mL 甲醇将结合态香气物质洗脱,收集至 50 mL 的圆底烧瓶内,整个固相萃取过程洗脱剂流速保持 2 mL/min。甲醇溶解结合态香气物质置于 30℃下真空旋转蒸干后,加入 10 mL 浓度为 2 mol/L、pH=5 的柠檬酸缓冲溶液重新溶解,混匀后取分装 4.9 mL 于 10 mL 离心管中,水解分为酶解与酸解^[7-9]。

酶解:向上述柠檬酸溶液中加入 100 μL 糖苷酶(100 g/L),置于 40℃恒温水浴锅 16 h;酸解:将柠檬酸缓冲溶液重新溶解的液体,直接置于 100℃水浴锅中水浴 1 h。

萃取:量取 5 mL 样液至 15 mL 样品瓶(带有磁力搅拌子)中,再加入 1.00 g NaCl 与 10 μL 的 4-甲基-2-戊醇内标,迅速用带有 PEP 隔垫盖子拧紧,在常温下静置 20 min 后,将样品瓶置于温度为 45℃的磁力加热搅拌器上,并将老化过的 SPME 萃取头插入样品瓶的顶空部分(切勿接触液面),40 min 后取下萃取头在 GC 进样口 250℃条件下解析 8 min。葡萄与苹果的处理方式与上述一致。

1.3.2 GC-MS 条件

参考文献^[10]的方法有所改进,载气为氦气,流速为 0.8 mL/min,不分流,进样口温度为 250℃,解析 8 min,色谱柱为 VF-WAXms (60 m×0.25 mm×0.25 μm)升温程序为:初始温度为 35℃保持 1 min,再以 1.5℃/min 升温至 50℃保持 5 min,而后以 2.5℃/min 升温至 75℃保持 5 min,继续以 1.5℃/min 升温至 160℃保持 8 min,再以 3℃/min 升温至 230℃,质谱电离为 EI,离子源温度为 230℃,四级杆温度为 150℃,电离电压为 70 eV,扫描范围为 30~350 u。

定性定量分析:各组分质谱通过质谱库(NIST2007 版本:V.2.0.F)检索分析,同时结合保留指数(Retention Index, RI),在同等条件下进样 C6~C30 正构烷烃混标,按参考文献^[11]中的公式计算各组分保留指数 RI,与香气物质在 VF-WAXms 色谱柱上的保留指数相比较,绝对值在±50 内才能保留。内标法进行定量,以 4-甲基-2-戊醇为内标,以果实中的香气成分对其相对响应值计算其相对含量。

2 结果与讨论

利用 GC-MS 对三种水果挥发性成分进行测定,其总离子流图见图 1 至图 9,分析结果见表 1 与表 2。

表1 草莓、葡萄、苹果结合态香气物质

Table 1 Strawberry, grape, and apple-bound aroma substances

种类	中文名称	RI/RI*	RT 值/min	草莓结合态		葡萄结合态		苹果结合态	
				酶解	酸解	酶解	酸解	酶解	酸解
醇类	1-丁醇	1186/1173	28.6	0.069	0.074	0.034	0.053	-	-
	1-戊醇	1237/1254	33.1	-	0.128	0.054	-	-	-
	2-乙基己醇	1539/1492	58.7	0.031	-	0.047	-	0.041	-
	1-己醇	1363/1361	46.7	0.034	-	0.031	-	0.257	-
	异戊醇	1236/1213	33	0.036	-	-	0.061	-	0.101
	2-庚醇	1334/1320	43.4	0.036	-	-	-	-	-
	2-甲基-1-丁醇	1230/1207	32.4	-	-	-	-	0.250	-
	(±)-6-甲基-5-庚烯基-2-醇	1485/1468	56.4	-	-	-	-	0.017	-
酯类	乙酸苯乙酯	1902/1855	84.2	0.165	0.172	0.016	0.171	0.021	0.361
	水杨酸甲酯	1851/1804	81.1	0.026	-	-	-	-	-
	乙酸异戊酯	1115/1122	25	-	0.023	0.026	0.189	-	0.091
	反式-肉桂酸甲酯	2098/2096	102.5	0.187	-	-	-	-	-
	正己酸乙酯	1252/1231	34.6	-	-	-	0.022	-	0.019
	辛酸乙酯	1448/1440	54.0	-	-	-	-	0.017	-
酸类	2-甲基丁酸	1683/1664	74.1	-	-	-	-	0.036	-
酮类	反式-3-戊烯-2-酮	1133/1122	25.9	-	0.036	-	-	-	-
	4-甲氧基-2,5-二甲基-3(2H)-呋喃酮	1641/1625	67.3	0.083	0.053	-	-	-	-
	4-亚环己烯基-3,3-二甲基-2-戊酮	1596/1628	60.2	-	-	-	-	0.026	-
醛类	苯甲醛	1547/1521	61.3	-	0.033	-	-	-	-

注: -表示未检测出, RI 为保留指数计算值, RI*为相似色谱条件下质谱库 NIST2007 中的保留指数。

表2 草莓、葡萄、苹果游离态香气物质

Table 2 Strawberry, grape, apple free aroma substances

种类	中文	RI/RI*	R 值/min	草莓游离态	葡萄游离态	静宁游离态
醇类	1-戊醇	1249/1254	34.3	0.017	-	-
	异辛醇	1471/1492	56.4	-	0.012	0.022
	糠醇	1661/1659	70.5	-	0.039	-
	2-甲基-1-丁醇	1209/1207	30.3	-	-	0.131
	(±)-6-甲基-5-庚烯基-2-醇	1450/1468	54.1	-	-	0.042
	正丁醇	1125/1173	25.5	-	-	0.108
酸类	2-甲基丁酸	1667/1664	71.6	0.034	-	-
	乙酸	1445/1454	53.8	-	0.136	-
酯类	乙酸苯乙酯	1902/1855	81.8	0.296	0.052	0.271
	乙酸乙烯酯	893/902.3	13.2	0.019	-	-
	乙酸异戊酯	1074/1122	23.5	0.027	-	-
	正己酸乙酯	1233/1231	32.7	-	-	0.708
	2-甲基丁基乙酸酯	1074/1110	23.5	-	-	1.492
	乙酸戊酯	1166/1140	27.6	-	-	0.055
	丁酸乙酯	986/1033	16.7	0.018	-	0.906
	乙酸乙酯	843/885	9.3	0.04	-	0.113

转下页

接上页					
酮类	4-甲氧基-2,5-二甲基-3(2H)-咪喃酮	1650/1625	64.9	0.03	-
	羟基丙酮	1297/1284	39.2	-	0.018
	1,2-环戊二酮	1782/1741.6	78.6	-	0.081
醛类	苯甲醛	1547/1521	59.0	0.038	-
	2-己烯醛	1218/1216	31.2	-	1.046
	糠醛	1453/1457	54.3	-	0.041
	1-己醛	1080/1075	20.2	-	0.533

注：-表示未检测出，RI 为保留指数计算值，RI*为相似色谱条件下质谱库 NIST2007 中的保留指数。

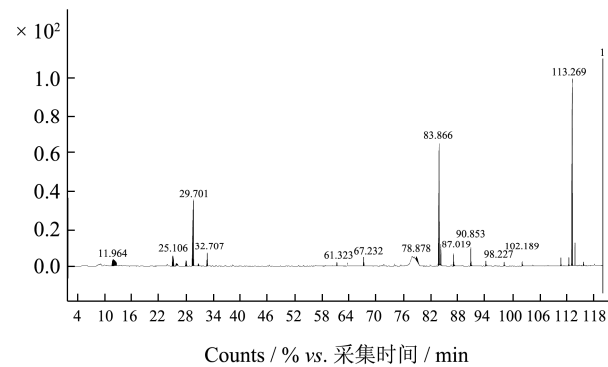


图 1 草莓酶解后的挥发性成分总离子流图

Fig.1 Total Ion flow Diagram of volatile components after Enzymatic Hydrolysis of Strawberry

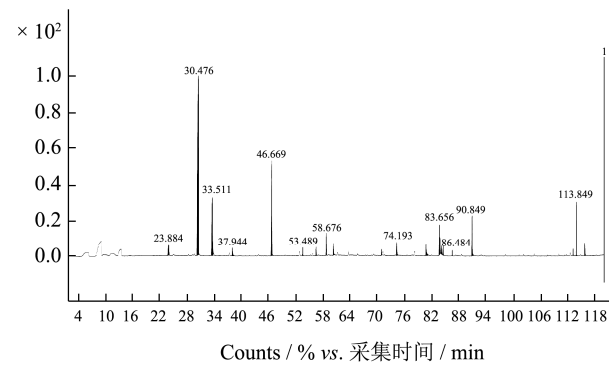


图 4 葡萄酸解后的挥发性成分总离子流图

Fig.4 Total ion flow diagram of volatile components after acidolysis of grape

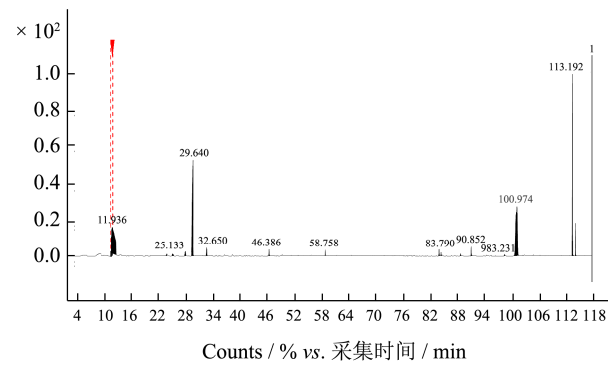


图 2 草莓酸解后的挥发性成分总离子流图

Fig.2 Total ion flow diagram of volatile components after acid hydrolysis of strawberry

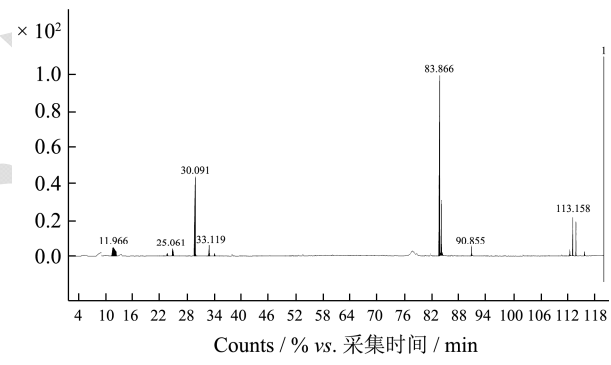


图 5 苹果酶解后的挥发性成分总离子流图

Fig.5 Total Ion flow diagram of volatile components after enzymatic hydrolysis of apple

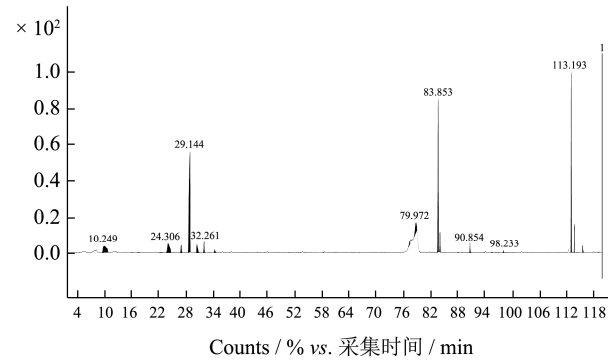


图 3 葡萄酶解后的挥发性成分总离子流图

Fig.3 Total ion flow diagram of volatile components after enzymatic digestion of grape

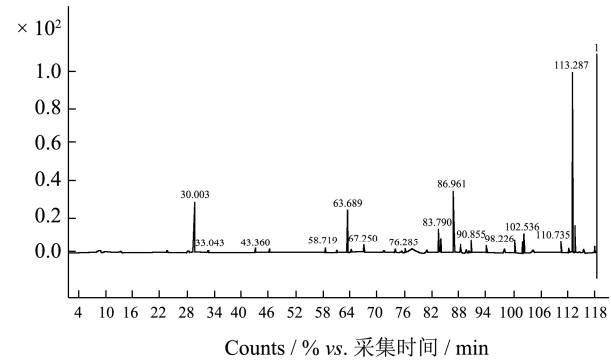


图 6 苹果酸解后的挥发性成分总离子流图

Fig.6 Total ion flow diagram of volatile components after malic acid hydrolysis

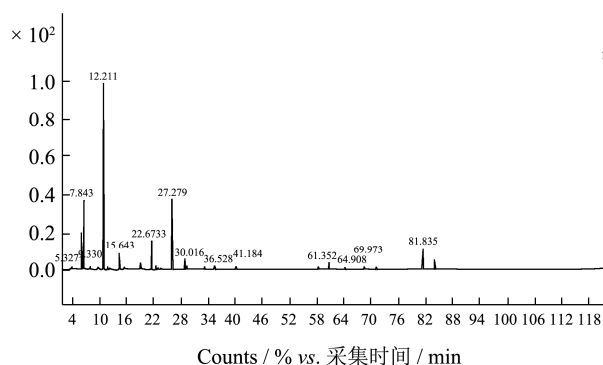


图7 草莓游离态挥发性成分总离子流图

Fig.7 Total ion flow diagram of free volatile components in strawberry

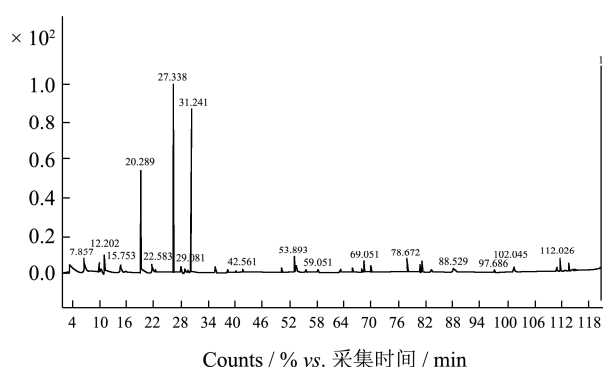


图8 葡萄游离态挥发性成分总离子流图

Fig.8 Total ion flow diagram of free volatile components in grapes

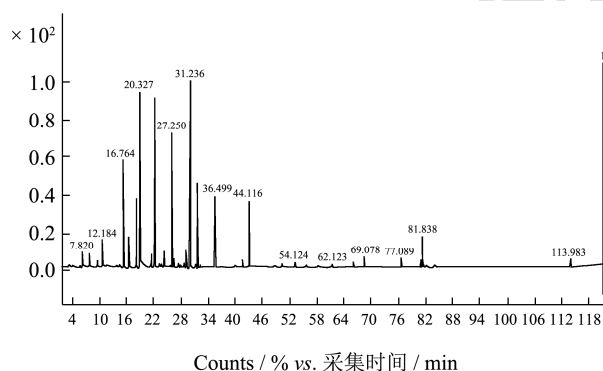


图9 苹果游离态挥发性成分总离子流图

Fig.9 Total ion flow diagram of free volatile components in apple

由表 1、2 可得三种水果鉴定出的结合态与游离态香气物质的种类数依次为: 草莓结合态香气物质共检测出 13 种, 酶解处理后检出 9 种, 相对含量较高的为反式-肉桂酸甲酯 (0.187)、乙酸苯乙酯 (0.165), 酸解处理检出 7 种, 相对含量较高的为 1-戊醇 (0.128)、乙酸苯乙酯 (0.172), 归类为醇类 6 种, 酯类 4 种, 酮类 2 种, 醛类 1 种; 葡萄结合态香气物质共检出 8 种, 酶解处理后检出 6 种, 相对含量较高的为 1-戊醇 (0.154), 酸解处理检出 5 种, 相对含量较高的为乙

酸异戊酯 (0.189)、乙酸苯乙酯 (0.171), 归类为醇类 5 种, 酯类 3 种; 苹果结合态香气物质共检出 13 种, 酶解处理后检出 9 种, 相对含量较高的为 1-己醇 (0.257)、2-甲基-1-丁醇 (0.25), 酸解处理检出 5 种, 相对含量较高的为乙酸苯乙酯 (0.361), 归类为醇类 7 种, 酯类 4 种, 酸类 1 种, 酮类 1 种; 草莓测得游离态香气种类为 9 种, 其中醇类 1 种, 酸类 1 种, 酯类 5 种, 酮类 1 种, 醛类 1 种, 相对含量较高的为乙酸苯乙酯 (0.296); 葡萄测得游离态香气种类为 9 种, 其中醇类 2 种, 酸类 1 种, 酮类 2 种, 酯类 1 种, 醛类 3 种, 相对含量较高的为 2-己烯醛 (1.046); 苹果测得的游离态香气种类为 13 种, 其中醇类 4 种, 酸类 1 种, 醛类 2 种, 酯类 6 种, 相对含量较高的为 2-己烯醛 (1.926)、1-己醛 (1.979)、2-甲基丁基乙酸酯 (1.492)。

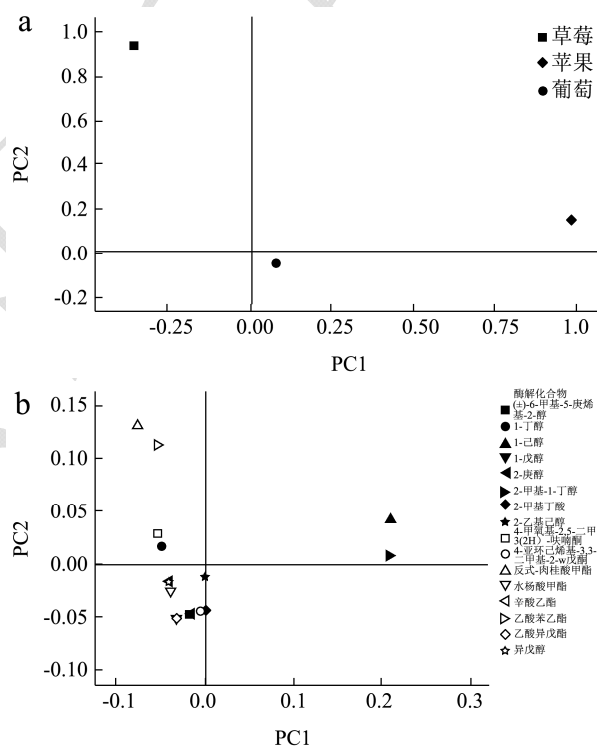


图10 酶解结合态香气物质

Fig.10 Enzyme-bound aroma compounds

对不同种类水果及香气成分进行主成分分析, 表现出明显的差异, 由图 10 可知, 三种水果通过酶解处理后, 草莓的主要香气物质为乙酸苯乙酯、反式-肉桂酸甲酯, 葡萄的主要香气物质为乙酸异戊酯、1-戊醇, 苹果的主要香气物质为 1-己醇、2-甲基-1-丁醇; 由图 11 可知, 草莓酸解后的主要香气物质为 1-戊醇, 葡萄酸解后的主要香气物质为乙酸异戊酯, 苹果酸解后的主要香气物质为乙酸苯乙酯; 由图 12 可知草莓的游离态主要香气物质为乙酸苯乙酯, 葡萄的主要香气物质为 2-己烯醛, 苹果的主要香气物质为 1-己醛、丁酸乙

酯、正己酸乙酯、2-甲基丁基乙酸酯。

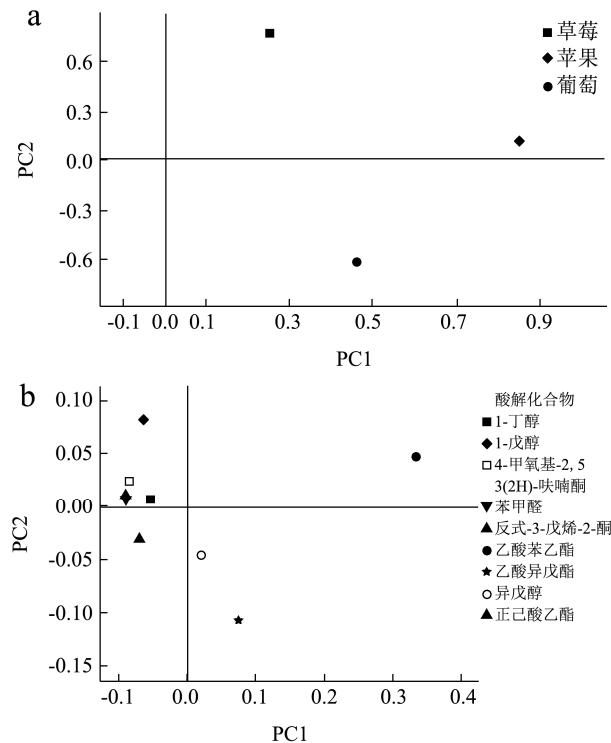


图 11 酸解结合态香气物质

Fig.11 Acid-hydrolyzed bound aroma compounds

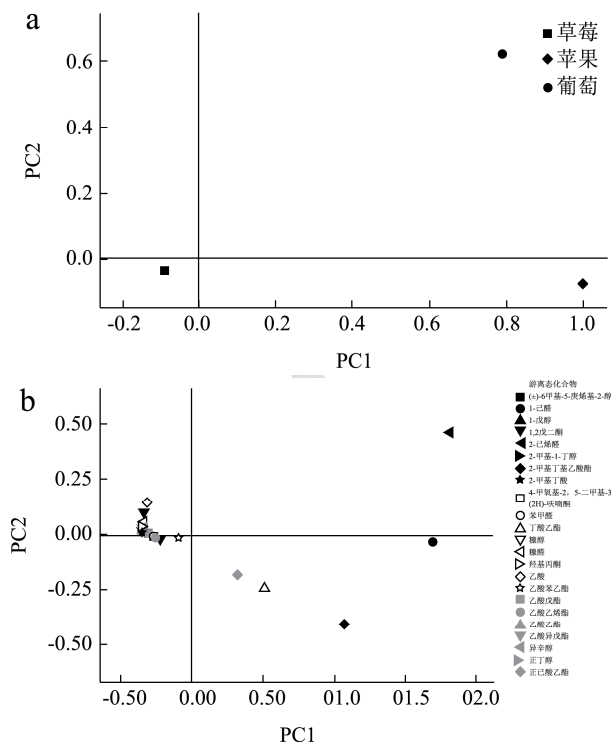


图 12 游离态香气物质

Fig.12 Free aroma compounds

由三种水果检出的香气物质种类可看出酸解测得香气物质低于酶解处理，原因可能在于酸解处理需在高温水浴下进行，部分香气物质会发生挥发。结合态香气经酶解处理后，可看出醇类与酯类物质较为丰

富，同时也说明酸解处理后的样品所测得的香气物质，在高温下较为稳定，不易被高温环境破坏分解。在报道的文献^[12-14]中几种水果的香气物质在本研究中均检测到，三种水果的主要香气物质中，酯类较多，还有部分醇类与醛类，这些物质对水果的特殊香气有着重要的影响^[15]，有研究表明，海拔较高地区有利于水果中酯类物质积累^[4]，酯类香气物质较为丰富的原因可能与种植地的海拔有关。上述中草莓的主要香气物质乙酸苯乙酯在游离态与结合态均检测到，据文献记载乙酸苯乙酯的气味描述为玫瑰香、蜜香及花香^[10]，此类物质与草莓的香气密切相关。葡萄的主要香气物质的气味主要表现为清香以及果香^[10,16]，苹果的主要香气物质的气味主要表现为香蕉香、花香、菠萝香、蜜香、玫瑰香、苹果香^[7,17]，苹果的香气物质较为丰富，上述这些物质可能对提升水果自身香气品质有着重要的作用，值得后续的探讨与研究。三种水果的香气物质相对含量及成分的不同在三种水果间体现出了个体差异性，也说明不同种类水果的香气复杂多变，香气物质随着水果的成熟，其种类与相对含量会发生动态的变化，且与当地的气候条件、海拔地势、种植技术以及土壤等诸多因素相关^[18]。水果中存在含量较为丰富的结合态香气物质，通过酶解与酸解，解离出水果中的结合态芳香组分，释放潜在的芳香物质，其途径也是提高水果加工制品加工后香气品质的有效方法^[19]。我国幅员辽阔，气候地形复杂多样，相同种类的水果种植于不同地区，其风味及香气等特征存在着差异性，而每个地区应该培育和推广适合自己气候的特色水果及水果加工制品，逐步形成典型性强的特色产品，来源于水果的关键性香气物质对于水果及加工制品的风味存在重要的贡献，现研究大都徘徊于不同品种、不同果类游离态的香气分析上，对水果的游离态与结合态香气物质对比分析偏少，该分析为其形成及受环境因子作用而变化规律的研究提供基础性参考，同时为后期研究贮藏阶段变化奠定基础。

3 结论

通过对草莓、葡萄、苹果三种水果的挥发性成分进行检测分析，三种水果结合态香气物质与游离态香气物质较为丰富，草莓的结合态香气物质共检测出 13 种，游离态香气物质为 9 种；葡萄的结合态香气物质共检出 8 种，游离态香气物质为 9 种，苹果的结合态香气物质共检出 13 种，游离态香气物质为 13 种，通过主成分分析得出各自的主要香气物质。该结果为其形成及受环境因子作用而变化规律的研究提供基础性参考，同时为后期研究贮藏阶段变化奠定基础。

参考文献

- [1] Lund S T, Bohlmann J. The molecular basis for wine grape quality: A volatile subject [J]. Science, 2006, 311(5762): 804-805
- [2] Barbagallo R N, Spagna G, Palmeri R. Assessment of β -glucosidase activity in selected wild strains of *Oenococcus oeni* for malolactic fermentation [J]. Enzyme and Microbial Technology, 2004, 34, 292-296
- [3] Spagna G, Romagnoli D, Angela M A. Simple method for purifying glycosidases: arabinofuranosidase and β -glucopyranosidase from *Aspergillus niger* to increase the aroma of wine [J]. Enzyme and Microbial Technology, 1998, 22, 298-304
- [4] 刘俊灵,李红光,党美乐,等.苹果新品种‘瑞雪’及几个常见品种果实香气物质成分差异分析[J].果树学报,2019,36(5):590-602
LIU Jun-ling, LI Hong-guang, DANG Mei-le, et al. Analysis of aroma components in fruit of the new apple cultivar “Ruixu” and several common cultivars [J]. Journal of Fruit Science, 2019, 36(5): 590-602
- [5] Dunlevy J D, Kalua C M, Keyzers R A, et al. The production of Flavour & Aroma Compounds in Grape Berries [M]. Grapevine molecular physiology & biotechnology. Springer, Dordrecht, 2009: 293-340
- [6] 张运涛,董静,王桂霞.草莓香味的形成和香味育种[J].中国农业科学,2004,37(7):1039-1044
ZHANG Yun-tao, DONG Jing, WANG Gui-xia. Formation of aroma volatiles in strawberry fruit and aroma breeding [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2004, 37(7): 1039-1044
- [7] Gunata Y Z, Bayonove C L, Cordonnier R E, et al. Hydrolysis of grape monoterpenyl glycosides by *Candida molischiana* and *Candida wickerhamii* β -glucosidases [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 1990, 50(4): 499-506
- [8] Günata Z, Blondeel C, Vallier M J, et al. An endoglycosidase from grape berry skin of Cv. M. Alexandria hydrolyzing potentially aromatic disaccharide glycosides [J]. Journal of agricultural and food chemistry, 1998, 46(7): 2748-2753
- [9] Ibarz M J, Ferreira V, Hernández-Orte P, et al. Optimization and evaluation of a procedure for the gas chromatographic-mass spectrometric analysis of the aromas generated by fast acid hydrolysis of flavor precursors extracted from grapes [J]. Journal of Chromatography A, 2006, 1116(1-2): 217-229
- [10] 吴玉文.葡萄、荔枝果实及果酒品种香气成分的 GC-MS-AMDIS 分析[D].北京:中国农业大学,2011
WU Yu-wen. GC-MS-AMDIS analysis on varietal aroma components of grape and litchi fruit and wine [D]. Beijing: China Agricultural University, 2011
- [11] 石华治,王娟,刘玉平,等.潮汕牛肉丸煮制前后关键性香气成分对比分析[J].食品科学技术学报,2018,36(5):44-50
SHI Hua-zhi, WANG Juan, LIU Yu-ping, et al. Comparative analysis of key odorants in chaoshan beef balls before and after boiling [J]. Journal of Food Science and Technology, 2018, 36(5): 44-50
- [12] 曾祥国,韩永超,向发云,等.不同品种草莓果实挥发性物质的 GC-MS 分析[J].亚热带植物科学, 2015,44(1):8-12
ZENG Xiang-guo, HAN Yong-chao, XIANG Fa-yun, et al. Analysis of GC-MS on fruit aroma components of different strawberry cultivars [J]. Subtropical Plant Science, 2015, 44 (1): 8-12
- [13] 梁茂雨,陈怡平,纵伟.红提葡萄中香气成分的 GC-MS 分析[J].现代食品科技,2007,5:79-81
LIANG Mao-yu, CHEN Yi-ping, ZONG Wei. GC-MS analysis of aroma components in red grape [J]. Modern Food Science and Technology, 2007, 5: 79-81
- [14] 曾辉.不同品种苹果特征香气的表征与识别[D].长沙:湖南农业大学,2016
ZENG Hui. Characterization and identification of characteristic aroma of different apple varieties [D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2016
- [15] 段亮亮,郭玉蓉,李锦运,等.秦冠、富士、澳洲青苹生长发育期间品质特性分析[J].食品科学,2010, 31(3):69-73
DUAN Liang-liang, GUO Yu-rong, LI Jin-yun, et al. Quality characteristic analysis of three apple varieties during growth and development periods [J]. Food Science, 2010, 31(3): 69
- [16] 李凯,王金晶,李永仙,等.红心火龙果果酒香气特征分析[J].食品与发酵工业,2019
LI Kai, WANG Jin-jing, LI Yong-xian, et al. The analysis of the characteristic aroma components of red pitaya wine [J]. Food and Fermentation Industries, 2019

(下转第 65 页)