

香蕉果醋连续固定化发酵过程中挥发性香气成分含量变化

The change of volatile flavor substances in the processing of continuous immobilization of banana vinegar

韦璐 孙钦菊 杨昌鹏 杜丽娟 黄杰 凌敏敏

WEI Lu SUN Qin-ju YANG Chang-peng DU Li-juan HUANG Jie LING Min-min

(广西农业职业技术学院, 广西南宁 530007)

(Guangxi Agricultural Vocational College, Nanning, Guangxi 530007, China)

摘要:以酒精含量为 5%~6% 的香蕉果酒为原料,经连续固定化发酵法酿制香蕉果醋,采用顶空固相微萃取—气相色谱—质谱联用技术分析鉴定果醋发酵不同阶段的挥发性成分,并分析其主要香气物质含量的动态变化。研究表明,香蕉果醋中挥发性香气成分有 79 种,其中主要香气成分为乙酸乙酯、辛酸乙酯、己酸乙酯、癸酸乙酯、苯乙酸乙酯、乙醇、异丁醇、苯乙醇、 α -松油醇、乙酸、己酸、辛酸 3-羟基-2-丁酮、壬醛、2-庚酮、癸醛丁香酚和 2-甲氧基-4-甲基苯酚。随着发酵过程的进行,醇类化合物含量逐渐减少,最终相对含量为 30.467%;酯类、酸类化合物含量先增加后减少,最终相对含量分别为 41.069%, 6.383%;成品香蕉果醋的羰基类、烷烃类和酚类化合物含量相对香蕉果酒有明显增加,最终相对含量分别为 9.428%, 1.927%, 2.867%;且发酵过程中化合物种类增多,由香蕉果酒的 66 种变为香蕉果醋的 79 种,这些挥发性香气成分协同作用,构成了香蕉果醋的宜人香气。

关键词:香蕉果醋;发酵;香气物质;动态变化

Abstract: Using banana fruit wine with an alcohol content of 5%~6% as raw material, the banana fruit vinegar is brewed by continuous immobilization fermentation method, and the head-space solid phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry is used to analyze and identify the volatile components in different stages of banana vinegar fermentation, and analyze the dynamic changes of main aroma substances. A total of 79 compounds were isolated in banana vinegar, and the main flavor components of banana vinegar were ethyl acetate, ethyl

octanoate, ethyl hexanoate, ethyl decanoate, ethyl phenylacetate, ethanol, isobutanol, phenylethyl alcohol, α -terpineolacetic acid, caproic acid, octanoic acid, 3-hydroxy-2-butanone, furfural, 2-heptanone, furfural, eugenol and 2-methoxy-4-methylphenol. As the fermentation process progressed, the alcohol compounds gradually decreased with the final relative content of 30.467%, while the proportion of esters and acids first increased and then decreased with the final relative content of 41.069%, 6.383% respectively. The carbonyls, alkanes and phenolic compounds of the finished banana fruit vinegar increased significantly compared to banana wine with the final relative contents of 9.428%, 1.927%, 2.866% respectively. The compound types increased during the fermentation process, changing from 66 kinds of banana fruit wine to 79 kinds of banana fruit vinegar, these volatile aroma components act synergistically to form banana vinegar with a pleasant aroma.

Keywords: banana vinegar; fermentation; aroma substance; dynamic changes

香蕉是典型的热带及亚热带水果,与荔枝、菠萝和木瓜并称“岭南四大名果”^[1-2],是继水稻、小麦及玉米之后的全球第四大重要农作物^[3]。香蕉果实香甜柔软,肉质细腻软滑,具有较高的营养价值和独特的风味^[4],除鲜食外,香蕉还能加工成其他产品,如香蕉果酱、香蕉汁、香蕉酸乳等^[2,5]。其含糖量高,富含钾和多种维生素、氨基酸及矿物质元素,可以促进肠胃蠕动,润肠通便,对治疗心血管、消化道系统等病症有辅助作用,是一种较好的保健食品^[6-7]。香蕉中含有的 5-羟色胺可以使人心情愉快、舒畅,对缓解悲伤、烦躁等低落情绪有良好的功效^[8]。香蕉是一种典型的跃变型果实,会产生乙烯等催熟类物质,在流通过程中易造成大量损耗,严重时影响采后香蕉的贮运保鲜及可售性^[9]。

果醋兼有水果和食醋的营养价值^[10],不仅延续了食

基金项目:广西科技重大专项(编号:AA17204038);广西南宁良庆区重点科研课题(编号:201916);广西农业职业技术学院校级课题(编号:YKJ2022)

作者简介:韦璐(1982—),女,广西农业职业技术学院副教授,硕士。E-mail:12576900@qq.com

收稿日期:2020-07-08

醋的保健功能,还增添了食醋不具备的独特香气及某些营养元素^[11-12]。用香蕉作为原料生产香蕉果醋,既可以丰富果醋品种,又能兼顾香蕉不耐贮藏的问题。由优质香蕉发酵所得的香蕉果醋,果香浓郁,酸甜柔和,钾含量高,富含维生素、矿物质及酵素,具有促进新陈代谢、调节酸碱平衡、消除疲劳、清肠胃、治便秘和降血脂等功效^[4]。

影响果醋风味品质的因素较多,其中挥发性香气成分是评价果醋品质的指标之一。果醋中的挥发性成分有的来自水果本身,有的来自发酵过程中的微生物反应,它们共同作用构成了果醋的独特风味特征^[13-14],目前常采用顶空固相微萃取法^[15](HS-SPME)结合气相色谱-质谱联用(GC-MS)技术分析鉴定易挥发成分,而有关香蕉果醋中的挥发性香气成分及其在发酵过程中的变化规律研究鲜有报道。温海洋等^[16]从香蕉果酒中定性确定香气成分 38 种,主要为酯类物质(27 种,70.31%)和醇类物质(8 种,22.83%)。郭先霞等^[17]从三华李香蕉果酒中鉴定出 13 种香气物质,包括酯类物质(9 种,56.93%)、醇类物质(3 种)和烷烃类物质(1 种)。固定化发酵技术^[18]是利用微生物的生物转化作用,使底物原料变为所需产品,其效率高、产品转化快,易于实现连续化、自动化生产^[19]。试验拟通过连续固定化发酵法生产香蕉果醋,采用 HS-SPME-GC-MS 技术^[20-21]分析鉴定香蕉果醋不同发酵阶段的易挥发性成分,并研究其主要香气物质含量的动态变化,为香蕉果醋香气特征确定及品质形成提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料与设备

1.1.1 原料与试剂

香蕉果酒:广西农业职业技术学院香蕉果酒生产车间;

醋酸菌:陕西易腾达酿造科技有限公司;

焦亚硫酸钾:食品级,烟台帝伯仕自酿机有限公司;

氢氧化钠:优级纯,西陇科学股份有限公司;

果胶酶:500 U/mg,南宁东恒华道生物科技有限公司。

1.1.2 仪器与设备

固定化细胞连续反应器:YTD-200 型,陕西易腾达酿造科技有限公司;

自动型手提灭菌器:YXQ-LS-18SI 型,上海博讯医疗生物仪器股份有限公司;

固相微萃取装置:57330-U 型,美国 Supelco 公司;

气相色谱-质谱联用仪:TRACE DSQ 型,美国 Finnigan 公司。

1.2 试验方法

1.2.1 工艺流程

香蕉果酒
↓
固定化载体→醋酸菌活化→固定化发酵→过滤→
香蕉果醋

1.2.2 过程要点

(1) 固定化载体:选用无黑芯、无异味、不发霉的玉米

芯作固定化载体,灭菌后加入固定化反应器中,玉米芯填满反应器的 2/3 以上。

(2) 醋酸菌活化:按 0.1%~0.5%(以发酵液质量计)的添加量计算醋酸菌添加量,将醋酸菌均匀地撒在玉米芯上,开启物料泵将香蕉果酒泵入发酵罐,开启发酵罐循环泵,当醋床温度升温至 35℃左右并保持不变时,活化完毕。

(3) 固定化发酵:设定冷却泵启动温度 36.5℃,冷却泵停止温度 35.5℃。将酒精度为 5%~6%香蕉果酒分批泵入固定化反应器中发酵,检测发酵过程中的酒精度和酸度值,当酒精度降为 0%时完成一批果醋发酵阶段,将果醋泵入储罐。

1.2.3 香气成分分析 参考文献^[22],采用 HS-SPME-GC-MS 技术进行分析鉴定。

1.2.4 数据处理 试验数据处理及绘图采用 Origin 2019 软件,数据图表的修饰采用 Adobe Illustrator CS5 软件。

2 结果与分析

2.1 香气成分组成分析

通过检测香蕉果醋不同阶段发酵液的香气成分,研究香蕉果醋发酵过程中主要香气成分含量的变化规律,各样品总离子流色谱图见图 1,分析鉴定结果见表 1。

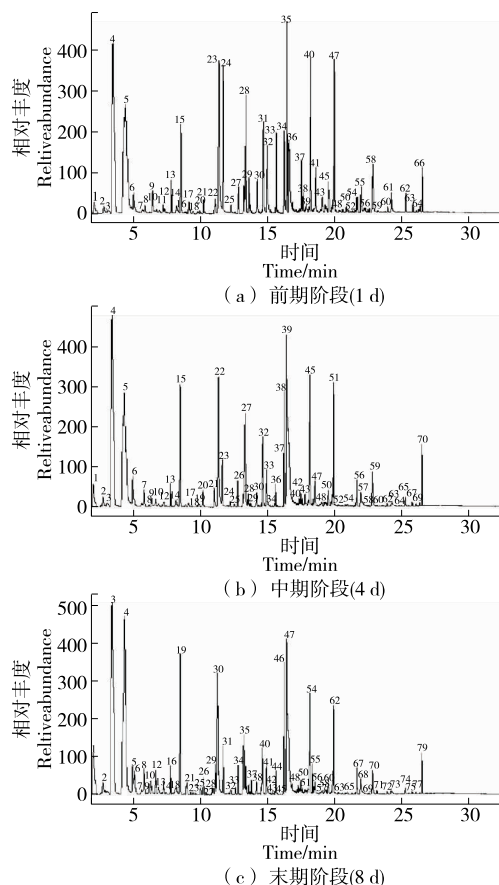


图 1 发酵液 GC-MS 总离子流图

Figure 1 Total ion chromatogram of fermentation broth by GC-MS

表 1 发酵液香气成分及含量[†]

Table 1 Aroma components and contents of fermentation broth

化合物 种类	名称	保留时 间/min	相对含量/%		
			前期阶段(1 d)	中期阶段(4 d)	末期阶段(8 d)
酯类	乙酸甲酯	2.767	0.313	0.565	0.665
	3-甲基-1,2,4-三氧杂环戊烷-3-羧酸酯	2.966	—	0.081	—
	乙酸乙酯	3.442	15.040	18.266	18.267
	乙酸异丁酯	5.838	0.243	0.327	1.100
	丁酸乙酯	6.411	0.707	0.281	0.372
	异戊酸乙酯	7.203	0.220	0.052	0.041
	乙酸丁酯	7.300	—	0.127	0.271
	1,2-二甲基丙基乙酸酯	7.323	0.154	0.098	—
	2-氧代丙酸-3-甲基丁酯	8.533	—	4.319	5.020
	乙酸异戊酯	8.526	2.650	—	—
	乙酸芳樟酯	9.295	—	—	0.111
	异丁酸戊酯	10.434	—	—	0.034
	己酸乙酯	11.703	4.264	1.420	1.331
	十八碳烯酸甲酯	12.023	—	0.043	—
	异戊酸丁酯	12.574	—	0.106	0.223
	乙酸己酯	12.824	0.713	0.737	0.801
	己-4-烯酸乙酯	13.379	3.707	5.006	0.751
	异戊酸异戊酯	13.405	—	—	0.206
	庚酸乙酯	14.382	—	0.054	0.047
	辛酸甲酯	15.584	0.117	0.076	0.070
	辛酸乙酯	16.454	3.886	5.364	5.209
	顺式-4-辛烯酸乙酯	17.092	0.034	0.021	0.021
	山梨酸乙酯	17.631	0.445	0.176	0.123
	壬酸乙酯	18.091	—	0.253	0.087
	DL-白氨酸乙酯	18.186	3.671	3.482	2.395
	醋酸香叶酯	18.371	0.052	0.134	0.533
	乳酸异戊酯	18.563	1.159	0.648	0.292
	呋喃-2-羧酸乙酯	19.260	—	0.074	0.050
	癸酸乙酯	19.525	0.533	0.187	0.118
	苯甲酸乙酯	19.894	0.975	0.735	0.603
	丁二酸二乙酯	19.970	3.086	2.767	1.749
	苯乙酸乙酯	21.335	0.040	0.036	0.515
	非氨酯	21.694	—	0.584	—
	3-苯丙酸乙酯	22.482	0.054	0.015	—
	十六酸乙酯	26.117	0.044	0.063	0.039
	2-羟基-3-苯基丙酸乙酯	26.382	0.145	0.073	0.025
醇类	乙醇	4.402	17.424	16.834	18.840
	异丁醇	8.224	0.366	0.410	0.402
	2-戊醇	9.128	0.519	0.148	—
	1-丁醇	9.780	0.084	0.061	0.050
	1-戊醇	11.306	—	—	4.990
	2-庚醇	14.235	0.972	0.507	0.384

续表 1

化合物 种类	名称	保留时 间/min	相对含量/%		
			前期阶段(1 d)	中期阶段(4 d)	末期阶段(8 d)
醇类	1-己醇	14.957	2.436	1.461	0.946
	3-乙基-4-壬醇	15.758	0.068	0.050	0.025
	2-辛醇	16.238	2.963	3.214	3.399
	4-壬醇	17.240	—	0.035	0.102
	2-壬醇	17.860	0.246	—	—
	1-壬醇	18.451	0.076	—	—
	2,4-二甲基-3-戊醇	18.726	0.032	—	—
	2-甲基-5-己烯-3-醇	18.734	—	—	0.016
	顺式-3-辛烯-1-醇	19.054	0.437	—	—
	顺式-7-十四烯-1-醇	19.058	—	0.132	—
	顺式-5-辛烯-1-醇	19.071	—	—	0.071
	4,4-二甲基-3-己醇	19.569	—	—	0.286
	2-呋喃甲醇	19.771	0.220	0.171	0.075
醇类	α -松油醇	20.296	0.037	0.028	0.029
	5-甲基-2-庚醇	20.576	0.080	—	—
	3,3-二甲基-2-戊醇	20.992	0.135	0.085	—
	苯乙醇	22.840	1.786	1.368	0.852
酸类	乙酸	16.597	3.956	7.476	5.374
	异丁酸	18.503	—	0.191	0.205
	2-羟基异己酸	19.109	—	0.089	0.083
	丁酸	19.327	0.163	—	0.135
	戊酸	19.344	—	0.150	—
	己酸	21.961	0.750	0.644	0.466
	辛酸	24.221	0.586	0.124	0.120
	癸酸	26.266	0.089	—	—
	乙醛	2.057	0.768	1.552	3.500
	异丁醛	2.636	—	0.095	0.071
	2-戊酮	4.989	0.841	1.560	1.187
	2,4-戊二烯醛	7.471	—	—	0.048
	2-庚酮	10.231	0.430	0.528	0.495
羰基类	3-羟基-2-丁酮	13.267	—	—	2.940
	1,4,4- <i>D</i> 3-甲基-5-吡唑啉酮	14.015	—	—	0.021
	二氢-3,5-二甲基-2(3 <i>H</i>)-呋喃酮	14.170	—	—	0.069
	2-羟基乙基-环己烷-1,3-二酮	15.127	—	—	0.050
	壬醛	15.649	1.784	0.538	0.514
	2-呋喃甲醛	16.865	0.170	—	0.091
	癸醛	17.510	1.104	0.362	0.329
	苯甲醛	17.846	—	0.262	0.113
烷烃类	1-乙氧基-1-甲氧基乙烷	2.958	—	—	0.122
	六甲基环三硅氧烷	3.081	—	0.340	0.130
	八甲基环四硅氧烷	5.669	0.108	—	0.137
	2,4,6-三甲基-1,3-二恶烷	6.923	0.088	0.098	0.295

续表 1

化合物 种类	名称	保留时 间/min	相对含量/%		
			前期阶段(1 d)	中期阶段(4 d)	末期阶段(8 d)
烷烃类	2-甲基-1,3-二恶烷	7.048	—	—	0.030
	3-甲基癸烷	7.125	—	—	0.017
	十一烷	7.809	—	—	0.631
	1-戊烷	8.174	—	—	0.174
	十甲基环戊硅氧烷	9.944	0.095	0.080	—
	双(甲基磺酰基)胺	10.928	—	—	0.296
	(3E)-3,7-二甲基辛-1,3,6-三烯	12.150	—	—	0.047
	反式-1-乙基-2-甲基环己烷	12.267	0.269	—	—
	十二甲基环六硅氧烷	14.573	0.052	0.072	—
	R-柠檬烯	17.944	0.073	—	—
	N-糠基-3-甲基丁基胺	21.622	0.288	0.072	0.048
	2-甲氧基-4-甲基苯酚	23.196	—	0.028	0.065
酚类	4-乙基-2-甲氧基苯酚	23.961	0.089	0.064	0.050
	丁香酚	25.295	0.382	0.195	0.119
	2,4-二叔丁基酚	26.534	0.776	1.211	0.706

† “—”未检测出。

由表 2 可知,香蕉果醋发酵过程中的香气成分主要为酯类、醇类和酸类物质。前期阶段,发酵液中的香气物质为 66 种,酯类、醇类、酸类、羰基类、烷烃类、酚类物质相对含量分别为 45.986%(26 种),35.417%(18 种),5.544%(5 种),5.097%(6 种),0.973%(7 种),2.248%(4 种)。中期阶段,发酵液中醇类占比逐渐减小,酯类和酸类物质相对含量增加,其他物质变化不明显,香气物质增加至 70 种,其中酯类、醇类、酸类、羰基类、烷烃类、酚类物质相对含量分别为 46.218%(33 种),30.817%(15 种),8.674%(6 种),4.897%(7 种),0.662%(5 种),2.160%(4 种)。发酵末期,果醋中酯类物质占比低于前两种发酵样品,与发酵中期相比,醇类和酸类物质相对含量减少,羰基类、烷烃类和酚类物质占比增加,果醋香气物质达 79 种,其中酯类、醇类、酸类、羰基类、烷烃类、酚

类物质相对含量分别为 41.069%(30 种),30.467%(15 种),6.383%(6 种),9.428%(13 种),1.927%(11 种),2.867%(4 种)。

发酵过程中,醇类物质含量逐渐减少,而酯类和酸类占比先增加后减少,总体呈下降趋势,成品香蕉果醋的羰基类、烷烃类和酚类物质含量相对香蕉果酒有明显增加,化合物种类增多,由香蕉果酒的 66 种变成 79 种。

2.2 香气成分种类分析

2.2.1 酯类物质 果醋香气中,酯类物质具有花香和果香等特性,可作为评价果醋的重要指标^[23]。图 2 为香蕉果醋发酵液中酯类物质相对含量的变化,其中乙酸乙酯是最常见的酯类,具有强烈的似梨果香及菠萝香味^[1,24],在前期阶段(15.040%)、中期阶段(18.266%)和末期阶段(18.267%)中占比均较高,对香蕉果醋的香气特征贡献较

表 2 香蕉果醋发酵过程中各阶段样品香气成分比例及种类数量

Table 2 The ratio of aroma components and the number of types of samples at each stage of the banana vinegar fermentation process

化合物	前期阶段(1 d)		中期阶段(4 d)		末期阶段(8 d)	
	相对含量/%	种类	相对含量/%	种类	相对含量/%	种类
酯类	45.986	26	46.218	33	41.069	30
醇类	35.417	18	30.817	15	30.467	15
酸类	5.544	5	8.674	6	6.383	6
羰基类	5.097	6	4.897	7	9.482	13
烷烃类	0.973	7	0.662	5	1.927	11
酚类	2.248	4	2.160	4	2.867	4

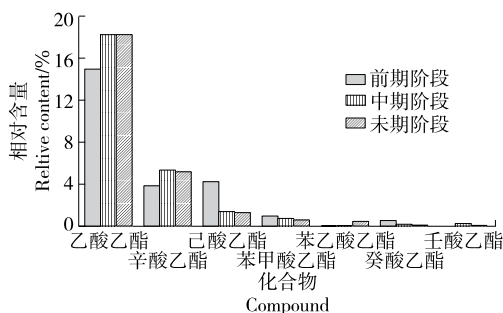


图2 酯类物质相对含量在发酵过程中的变化

Figure 2 Changes of esters in banana fruit vinegar during fermentation

大;香蕉果酒中仍保留有成熟香蕉果肉的典型香气成分——乙酸异戊酯(2.650%)^[25],而在发酵中期和末期果醋中均未检测到,乙酸异戊酯具有强烈的果香味并带有梨的酸甜味^[26];末期阶段果醋中检测到异戊酸异戊酯(0.206%)和乙酸芳樟酯(0.111%),发酵前期和中期果醋中均未发现,异戊酸异戊酯具有苹果样香气,可用作果香型香精的调合香料;乙酸芳樟酯具有令人愉悦的薰衣草花香及柠檬果香。发酵末期,果醋辛酸乙酯相对含量(5.209%)仅次于乙酸乙酯,赋予果醋白兰地香型香气;此外,其他相对含量较低的香气物质对提升果醋香气品质有辅助作用,如己酸乙酯(1.331%)具有苹果、草莓味果香及茴香味^[23];苯甲酸乙酯(0.603%)赋予橘子、橙花香味^[22];苯乙酸乙酯(0.515%)赋予香甜的蜂蜜香、玫瑰花香和果香气味^[27];癸酸乙酯(0.118%)赋予椰子香型香气;壬酸乙酯(0.087%)赋予浓郁的葡萄香气。

2.2.2 醇类物质 由图3可知,果醋中醇类物质相对含量仅次于酯类,香蕉果醋发酵过程中,醇类物质经醋酸菌转化为酸类物质,相对含量逐渐减少。末期阶段乙醇相对含量最高(18.840%),是酵母酒精发酵的主要产物,具有特殊香味;其次是1-戊醇(4.990%),乙醇和1-戊醇是香蕉果醋中主要的醇类物质。此外,苯乙醇(0.852%)具有独特的香味,赋予浓郁的玫瑰花香、茉莉花香、紫罗兰香等多种花香和果香及蜂蜜味;异丁醇(0.402%)赋予果醋杂醇油香味; α -松油醇(0.029%)呈薰衣草香味,这些醇类

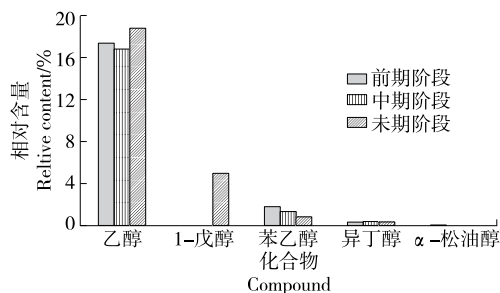


图3 醇类物质相对含量在发酵过程中的变化

Figure 3 Changes of alcohol in banana fruit vinegar during fermentation

物质不仅提升了香蕉果醋的口感,也影响其香气特征的形成。

2.2.3 酸类物质 香蕉果醋发酵液中酸类物质的相对含量变化见图4,酸类物质是影响果醋口感最直接的成分,对果醋的风味有实质性贡献,发酵中期阶段,在醋酸菌作用下乙醇转化为乙酸,酸类物质增多,而末期阶段,果醋中酸类物质有所下降,但高于前期果醋。选取对果醋香气贡献较大的几种成分进行详细分析,其中末期果醋乙酸(5.374%)占比最高,具有浓郁的醋香味,是香蕉果醋的主要呈味及呈香物质。此外,己酸(0.466%)、辛酸(0.120%)相对含量较小,己酸具有干酪味、羊膻味及轻微酸臭味;低浓度辛酸有水果香气。酸类物质呈味性较强,口感刺激,浓度较低时香味清新、令人愉悦,浓度过高则会产生相反的效果^[23]。

2.2.4 羰基类物质 香蕉果醋发酵液中羰基类物质的相对含量变化见图5,发酵液中羰基类物质独特的香气特征是构成香蕉果醋呈香体系不可或缺的部分,其中乙醛相对含量最高(3.500%),具有辛辣、醚样气味,浓度较低时呈果香、咖啡香、酒香;其次为3-羟基-2-丁酮(2.940%),是在醋酸发酵末期阶段产生的,具有奶香味、香甜的焦糖气味及果甜味,是酒类调香中一个极其重要的成分^[23];此外,其他物质相对含量较低,其中壬醛(0.514%)具有玫瑰、柑橘等香气^[28];2-庚酮(0.495%)具有似梨的水果香味;癸醛(0.329%)具有甜香、柑橘香、蜡香及花香;苯甲醛

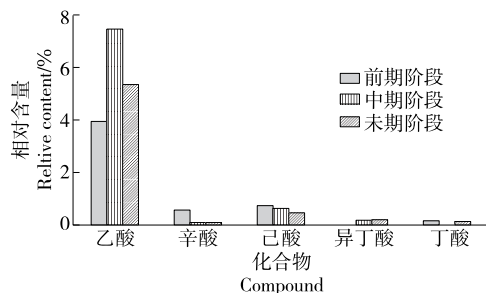


图4 酸类物质相对含量在发酵过程中的变化

Figure 4 Changes of acid in banana fruit vinegar during fermentation

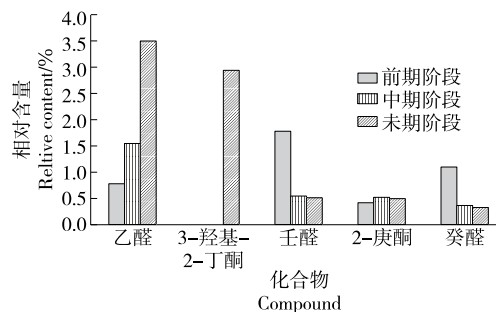


图5 羰基类物质相对含量在发酵过程中的变化

Figure 5 Changes of carbonyls in banana fruit vinegar during fermentation

(0.113%)具有杏仁气味;2-呋喃甲醛(0.091%)具有谷物和咖啡香气^[29]。

2.2.5 烷烃类和酚类物质 由图 6 和图 7 可知,烷烃类及酚类物质相对含量在发酵液中占比较低,主要是由果醋发酵末期阶段的 Strecker 降解反应和美拉德反应产生^[30],因此,与发酵前期果醋相比,末期果醋的烷烃类及酚类化合物相对含量明显增加,种类增多,其中烷烃类物质中 R-柠檬烯(0.073%)仅在香蕉果酒中存在,具有柠檬味;发酵末期果醋中检测到 1-戊烷(0.174%),具有微弱的薄荷香味。酚类物质中丁香酚(0.119%)有强烈的丁香香气及温和的辛香香气;2-甲氧基-4-甲基苯酚(0.065%)具有辛香、药香、丁香、香荚兰香气;4-乙基-2-甲氧基苯酚(0.050%)具有特殊芳香气味,这些酚类物质相对含量较少,但具有明显的香气特征,对香蕉果醋的主体香气有较好的修饰作用。

3 结论

通过 HS-SPME-GC-MS 技术对香蕉果醋不同阶段发酵液的易挥发性成分进行检测,并研究其主要香气物质含量的动态变化。结果表明:香蕉果醋中挥发性香气成分有 79 种,其中主要香气成分为乙酸乙酯、辛酸乙酯、己酸乙酯、苯乙酸乙酯、癸酸乙酯乙醇、苯乙醇、异丁醇、 α -松油醇乙酸、己酸、辛酸 3-羟基-2-丁酮、壬醛、2-庚酮、癸醛、丁香酚和 2-甲氧基-4-甲基苯酚。随着发酵过程的进行,

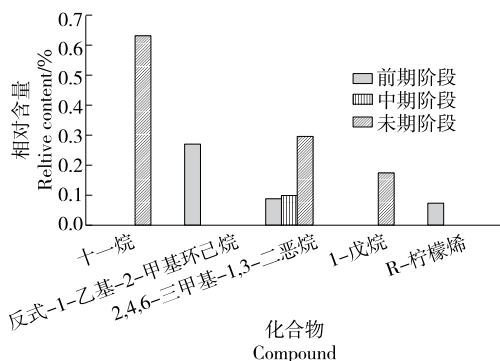


图 6 烷烃类物质相对含量在发酵过程中的变化

Figure 6 Changes of alkanes in banana fruit vinegar during fermentation

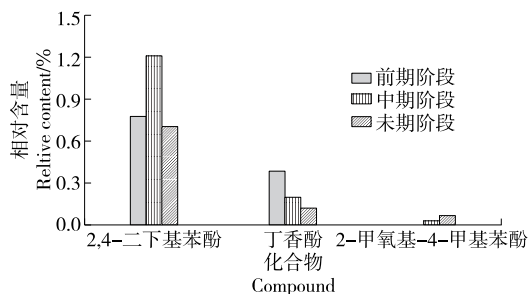


图 7 酚类物质相对含量在发酵过程中的变化

Figure 7 Changes of phenols in banana fruit vinegar during fermentation

醇类所占比例逐渐减少,而酯类和酸类占比则先增加后减少,总体呈下降趋势,成品香蕉果醋的羰基类、烷烃类和酚类物质含量相对香蕉果酒有明显增加,化合物种类增多,由香蕉果酒的 66 种变为香蕉果醋的 79 种,这些挥发性香气成分协同作用,形成了香蕉果醋的特色香味。研究分析了香蕉果醋的香气在发酵过程中的变化情况,并确定了香蕉果醋的特征成分,但针对发酵过程中香气成分的变化机理还需进一步研究。

参考文献

- [1] 刘贞诚, 耿予欢, 李国基, 等. 荔枝果醋产品中挥发性成分的分离与鉴定[J]. 食品与发酵工业, 2011, 37(8): 170-174.
- [2] 张宏康, 林小可, 李嵩琪, 等. 香蕉加工研究进展[J]. 食品研究与开发, 2017, 38(12): 211-216.
- [3] MAHAJAN B V C, KAUR T, GILL M I S, et al. Studies on optimization of ripening techniques for banana[J]. Journal of Food Science and Technology, 2010, 47(3): 315.
- [4] 邓红梅, 周如金, 王春, 等. 香蕉醋混菌发酵酿造及香气成分分析[J]. 中国调味品, 2013, 38(2): 96-99.
- [5] 张光颖, 梁世中, 高孔荣. 固定化酵母连续发酵生产香蕉酒的研究[J]. 食品与发酵工业, 1992(4): 32-35.
- [6] 杨晓虹, 翟书华, 全向荣. 香蕉醋的研制[J]. 昆明学院学报, 2001, 23(4): 64-66.
- [7] 解明明, 柯佑鹏. 我国香蕉深加工问题探讨[J]. 热带农业科学, 2013, 33(3): 75-78.
- [8] 赵国建, 鲍金勇, 杨公明. 香蕉营养保健价值及综合利用[J]. 食品研究与开发, 2005, 26(6): 175-178.
- [9] 祁文彩, 吴宁, 张亮, 等. 香蕉采后生理及贮藏保鲜研究进展[J]. 河南师范大学学报(自然科学版), 2019, 47(3): 99-105.
- [10] 荣智兴. 固定化发酵条件下蓝莓果醋加工工艺研究[D]. 杭州: 浙江工商大学, 2014: 5-7.
- [11] QIN Xiao-peng, LIU Fei, WANG Guang-cai, et al. Simultaneous analysis of small organic acids and humic acids using high performance size exclusion chromatography[J]. Journal of Separation Science, 2015, 35(24): 3 455-3 460.
- [12] LIU Feng-jie, DING Guo-sheng, TANG An-na. Simultaneous separation and determination of five organic acids in beverages and fruits by capillary electrophoresis using diamino moiety functionalized silica nanoparticles as pseudostationary phase[J]. Food Chemistry, 2014, 145: 109-114.
- [13] COELHO E, GENISHEVA Z, OLIVEIRA J M, et al. Vinegar production from fruit concentrates: Effect on volatile composition and antioxidant activity[J]. Journal of Food Science and Technology, 2017, 54(12): 4 112-4 122.
- [14] DIAS D R, SILVA M S, DE SOUZA A C, et al. Vinegar production from Jaboticaba (*Myrciaria jaboticaba*) fruit using immobilized acetic acid bacteria[J]. Food Technology and Biotechnology, 2016, 54(3): 351-359.

(下转第 35 页)

- 质及风味研究[J]. 食品与机械, 2019, 35(12): 185-189.
- [10] GIOVANELLI G, BURATTI S, LAUREATI M, et al. Evolution of physicochemical, morphological and aromatic characteristics of Italian PDO dry-cured hams during processing[J]. *European Food Research & Technology*, 2016, 242(7): 1 117-1 127.
- [11] 董盛月, 梁锋, 赵一楠, 等. 块状火腿生产过程中的菌相及理化变化[J]. 食品科学, 2009, 30(19): 96-99.
- [12] MARTIN L, ANTEQUERA T, VENTANAS J, et al. Free amino acids and other non-volatile compounds formed during processing of Iberian ham[J]. *Meat Science*, 2001, 59(4): 363-368.
- [13] 耿翠竹, 季鑫, 王海滨, 等. 宣恩火腿加工过程中理化指标变化的分析[J]. 肉类研究, 2017, 31(2): 11-15.
- [14] WAKAMATSU J I, AKTER M, HONMA F, et al. Optimal pH of zinc protoporphyrin IX formation in porcine muscles: Effects of muscle fiber type and myoglobin content[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2018, 101: 599-606.
- [15] 张静静, 刘桂芹, 魏子翔, 等. 干腌驴肉火腿加工过程中理化特性的动态变化[J]. 现代食品科技, 2020, 36(4): 228-234.
- [16] UTRERA M, ARMENTEROS M, VENTANAS S, et al. Pre-freezing raw hams affects quality traits in cooked hams: Potential influence of protein oxidation[J]. *Meat Science*, 2012, 92(4): 596-603.
- [17] 马艳梅. 羊肉火腿中蛋白质的变化规律及对其品质的影响[D]. 石河子: 石河子大学, 2014: 24-28.
- [18] 朱继梅, 杨培强, 邓云. 宣威火腿在贮藏过程中风味和质构变化[J]. 上海交通大学学报(农业科学版), 2019, 37(3): 55-60.
- [19] 顾赛麒, 王锡昌, 陶宁萍, 等. 顶空固相微萃取—气质联用及电子鼻技术检测中华绒螯蟹不同可食部位中的香气成分[J]. 食品科学, 2013, 34(18): 239-244.
- [20] RAMÍREZ R, CAVA R. Volatile profiles of dry-cured meat products from three different Iberian x Duroc genotypes[J]. *J Agric Food Chem*, 2007, 55(5): 1 923-1 931.
- [21] DENG Yun, LUO Ya-li. Effect of different drying methods on the myosin structure, amino acid composition, protein digestibility and volatile profile of squid fillets[J]. *Food Chemistry*, 2015, 171: 168-176.
- [22] LIU Huan, HUANG Jun-long, HU Qing-kun, et al. Dual-fiber solid-phase microextraction coupled with gas chromatography-mass spectrometry for the analysis of volatile compounds in traditional Chinese dry-cured ham[J]. *Journal of Chromatography B*, 2020, 1 140: 121994.
- [23] MÓNICA F, GRIMM C C, FIDEL T, et al. Correlations of sensory and volatile compounds of spanish “Serrano” dry-cured ham as a function of two processing times[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1997, 45(6): 1-7.
- [24] 王勇勤, 郭新, 黄笠原, 等. 基于电子鼻和气相色谱—质谱联用技术分析不同贮藏时间羊肉火腿香气成分[J]. 食品科学, 2019, 40(2): 215-221.
- [25] RUIZ-MORENO M J, MUOZ-REDONDO J M, CUEVAS F J, et al. The influence of pre-fermentative maceration and ageing factors on ester profile and marker determination of Pedro Ximenez sparkling wines[J]. *Food Chemistry*, 2017, 230: 697-704.
- [26] WHITFIELD F B, MOTTRAM D S. Volatiles from interactions of Maillard reactions and lipids[J]. *C R C Critical Reviews in Food Technology*, 1992, 31(1): 1-58.
- (上接第 28 页)
- [15] 赖毅东, 宁正祥. 固相微萃取技术及其在食品挥发性物质分析中的应用[J]. 食品与机械, 2002, 18(5): 36-38.
- [16] 温海洋, 江东文, 黄佳佳, 等. 香蕉果酒香气成分的 GC-MS 分析[J]. 酿酒科技, 2012(2): 97-99.
- [17] 郭先霞, 张继翔, 黄桂玲, 等. 三华李香蕉复合果酒发酵工艺优化及香气成分分析[J]. 酿酒科技, 2017(8): 91-97.
- [18] LI Xi-teng. Study on production of strawberry vinegar by immobilization technology[J]. *China Condiment*, 2010, 35(6): 54-56.
- [19] JIN Xin, BAI Long-lv, PIAO Wen-xiang. The research progress of preparation of fruit vinegar with immobilized micro-organism fermentation technique [J]. *Science and Technology Innovation Herald*, 2016, 13(21): 38-40.
- [20] 杨继红, 王华. 美国大杏仁烘烤和贮存过程中的香气成分分析[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2010, 38(12): 210-214.
- [21] 黄璐. 固相微萃取技术应用于中药材中有机氯农药残留的研究[D]. 武汉: 湖北中医学院, 2009: 12-20.
- [22] 韦璐, 杨昌鹏, 孙钦菊, 等. 香蕉果酒低温发酵过程中挥发性香气成分的变化[J]. 食品工业科技, 2020, 41(18): 231-238.
- [23] 郝红梅, 张生万, 郭彩霞, 等. 顶空固相微萃取—气相色谱—质谱联用法分析山楂果醋易挥发成分[J]. 食品科学, 2016, 37(2): 138-141.
- [24] 段珍珍, 袁敏, 常荣, 等. 有机酸及挥发性香气在枇杷醋加工中的变化及其对品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2017, 43(12): 114-123.
- [25] 张文灿, 林莹, 刘小玲, 等. 香蕉全果果汁香气成分分析[J]. 食品与发酵工业, 2010, 36(3): 133-140.
- [26] 李军鹏, 付彩霞, 王应喜, 等. 蜜柑果醋的风味物质成分分析[J]. 中国酿造, 2015, 34(11): 149-152.
- [27] 韩瑁垣, 田洪磊, 詹萍, 等. 不同菌种发酵对海棠果醋风味品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2015, 41(6): 108-113.
- [28] 苗爱清, 吕海鹏, 孙世利, 等. 乌龙茶香气的 HS-SPME-GC-MS/GC-O 研究[J]. 茶叶科学, 2010, 30(增刊): 583-587.
- [29] RAPP A. Volatile flavour of wine: Correlation between instrumental analysis and sensory perception[J]. *Nahrung*, 1998, 42(6): 351-363.
- [30] 桂青. 山西老陈醋酿造过程中主要成分变化规律的研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2013: 33-35.