

DOI:10.13652/j.spjx.1003.5788.2022.80027

# 发酵型与浸泡型杨梅酒的挥发性成分分析

## Analysis of volatile components of fermented and soaked bayberry wine

鲁金花 谢定 鲜灵芝

LU Jin-hua XIE Ding XIAN Ling-zhi

(长沙理工大学食品与生物工程学院, 湖南长沙 410114)

(School of Food Science and Bioengineering, Changsha University of Science and Technology, Changsha, Hunan 410114, China)

**摘要:**目的:利用杨梅酒的挥发性物质成分差异区分杨梅酒制作工艺。方法:通过发酵和浸泡两种不同的工艺制备杨梅酒,利用气相色谱—离子迁移色谱对两种杨梅酒的挥发性物质成分进行定性和定量分析。结果:在两种杨梅酒中共检出并定性了 59 种挥发性物质,其中醇类 18 种,酯类 19 种,醛类 9 种,酮类 6 种,吡嗪类及其衍生物 3 种,酸类 1 种,其他类 3 种。发酵型杨梅酒中的醇类物质种类更丰富,浸泡型杨梅酒中乙醇含量要高于发酵型,酯类物质在种类和含量上要优于发酵型杨梅酒。结论:通过杨梅酒挥发成分的种类和含量可以区分杨梅酒的制作工艺。

**关键词:**杨梅酒;发酵型;浸泡型;气相离子迁移色谱(GC-IMS);挥发性物质;指纹图谱

**Abstract: Objective:** Differences in the composition of volatile substances in bayberry wine were used to distinguish the process of making bayberry wine. **Methods:** Two different processes of fermentation and soaking were used to prepare bayberry wine, and gas chromatography-ion mobility chromatography was used to analyze the volatile components of the two bayberry wines qualitatively and quantitatively. **Results:** A total of 59 kinds of volatile substances were detected and characterized in the two bayberry wines, including 18 alcohols, 19 esters, 9 aldehydes, 6 ketones, and 3 pyrazines and their derivatives, 1 acid, 3 others. The alcohols in fermented bayberry wine were more abundant, while the content of ethanol in soaking type bayberry wine was higher than the fermented type. Moreover, the type and content of esters of the former were superior to the fermented type. **Con-**

**clusion:** The production process of bayberry wine can be distinguished by the type and content of the volatile components within bayberry wine.

**Keywords:** bayberry wine; fermentation type; soaking type; gas chromatography-ion mobility spectrometry (GC-IMS); volatile components; fingerprint

杨梅不耐储存和运输<sup>[1]</sup>,因此,通常将采摘的杨梅进行深加工避免因腐烂而导致的浪费。常见的杨梅加工产品有杨梅汁饮料、杨梅罐头、杨梅果脯、杨梅果醋和杨梅酒等。其中杨梅酒按生产方式分为发酵型和浸泡型。

挥发性物质是果酒品质的重要指标<sup>[2]</sup>,对挥发性物质的检测有电子鼻、电子舌、气相色谱—质谱联用仪(GC-MS)<sup>[3]</sup>、顶空固相微萃取—气质联用技术(HS-SPME-GC-MS)<sup>[4]</sup>、气相离子迁移色谱(GC-IMS)等方法,其中,GC-IMS具有更加简便高效,灵敏度高,不破坏挥发性物质的优良特点。祁兴普等<sup>[5]</sup>利用GC-IMS对不同产地黄酒进行识别研究,建立了一种快速、准确的黄酒产地鉴别方法。黄星奕等<sup>[6]</sup>采用GC-IMS实现了对黄酒中挥发性物质的快速无损检测。曹玉玺等<sup>[7]</sup>利用GC-IMS对储藏期杨梅发酵酒的挥发性物质进行测定,比较了添加不同酚酸类物质的杨梅酒挥发性物质的差异。研究拟采用GC-IMS技术对发酵型和浸泡型杨梅酒的挥发性物质进行定性和定量分析,找出两种类型酒挥发性成分的差异,旨在通过挥发成分的种类和含量区分杨梅酒的制作工艺。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材料与试剂

荸荠杨梅:购于绍兴市上虞区;  
白砂糖:市售;  
酿酒酵母:安琪酵母股份有限公司;  
可食用酒精:酒精度 95%,华兴食用酒精有限公司。

### 1.2 仪器与设备

榨汁机:JYL-C93T型,九阳股份有限公司;

**基金项目:** 国家科技部“十三五”重点研发计划(编号:2017YED0401104);湖南省重点研发计划(编号:2019NK2131);双一流学科建设基金(编号:097-000300107)

**作者简介:** 鲁金花,女,长沙理工大学在读硕士研究生。

**通信作者:** 谢定(1962—),男,长沙理工大学教授,博士。

E-mail: 1829365312@qq.com

**收稿日期:** 2021-03-02

恒温恒湿箱:HWS-150B型,天津市泰斯特仪器有限公司;

恒温水浴锅:DZKW-D-1型,北京市永光明医疗器械厂;

风味分析仪:FlavourSpec®型,德国G.A.S.公司。

### 1.3 杨梅酒的制作工艺

1.3.1 发酵型杨梅酒(FW) 将荸荠杨梅清洗后放入榨汁机中榨汁,用8层纱布过滤得到杨梅果汁,杨梅果汁的初始糖度为6°Brix,加入蔗糖将其糖度调至20°Brix,进行巴氏杀菌,然后采用安琪葡萄酒活性干酵母发酵,酵母添加量为0.3 g/L,发酵温度为24℃,前发酵时间为10 d,糖度降为6°Brix以下时前发酵结束,将杨梅酒在室温密闭环境下放置,开始后发酵,后发酵时间为30 d。

1.3.2 浸泡型杨梅酒(SW) 参照吕建垚<sup>[8]</sup>的方法并稍作修改,将杨梅与可食用酒精(将可食用酒精的酒精度稀释至25%)按质量比为1:1混合,使杨梅在密闭的环境中进行避光浸泡,浸泡时间与发酵型杨梅酒的时间相同。

### 1.4 GC-IMS 检测分析

取200 μL的样品置于20 mL顶空瓶中,60℃下孵化20 min,顶空进样进行检测。GC色谱条件:色谱柱(MXT-WAX 30 m×1 μm,0.53 mm),色谱柱温度60℃,载气为氮气,运行时间为40 min。IMS条件:漂移管温度45 min,漂移气为氮气,漂移气流速度150 mL/min。使用仪器配套的分析软件包括VOCal、Reporter插件以及Gallery Plot插件分别从不同角度进行样品分析,其中VOCal用于查看分析谱图和数据的定性定量分析,Reporter插件用于直接对比样品之间的谱图差异;Gallery Plot插件用于指纹图谱对比,每种样品进行3次平行测定

### 1.5 数据处理

所有试验均设3次平行,结果取平均值±标准差。采用Excel 2010制作表格,使用GC-IMS仪配套软件进行样品分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 两种杨梅酒挥发性物质成分定性分析

在两种杨梅酒中共检出并定性了59种挥发性物质,其中醇类有18种,酯类有19种,醛类有9种,酮类有6种,吡嗪类及其衍生物有3种。由表1可知,发酵型杨梅酒(FW)的特征成分为1-丙醇、己醇、(Z)-3-己烯-1-醇、3-甲基-1-戊醇、冰片、甲基吡嗪等,其中1-丙醇具有乙醇的气味;己醇具有果香,略带青叶的气味;(Z)-3-己烯-1-醇具有强烈新鲜的青叶香气;甲基吡嗪具有青草的香气。浸泡型杨梅酒(SW)的特征成分为(E)-3-己烯-1-醇、3-甲基-2-丁醇、1,8-桉树脑、(E)-2-庚烯醛、2-己烯醛、1-辛烯-3-酮、4-甲基-2-戊酮、巴豆酸乙酯、戊酸乙酯、己酸甲酯、己酸丙酯、对伞花烃等,其中(E)-3-己烯-1-醇具有强烈绿色嫩叶清香

的气味,具有清新浓郁的香气;1,8-桉树脑具有清新的薄荷味;(E)-2-庚烯醛具有青草香气;1-辛烯-3-酮具有菠萝的香气;巴豆酸乙酯具有水果和朗姆酒的香气;戊酸乙酯具有苹果的香气;己酸丙酯具有果香味。

杨梅果酒主要挥发性物质是醇类和酯类<sup>[9]</sup>,其中,酯类物质主要是由酵母菌在酒精发酵过程中通过酯酶或醇酰基转移酶将醇、脂肪酸等物质酯化形成的<sup>[10]</sup>,也有研究<sup>[11]</sup>表明酯类物质是贮藏过程中醇类和有机酸发生酯化反应产生的。醇类物质是果酒中的呈味物质也是芳香成分,醇类物质衬托酯类化合物的香气<sup>[12]</sup>。醋酸是两种杨梅酒中主要的挥发性酸类物质,它是由发酵过程中的酵母菌利用葡萄糖生成的<sup>[13]</sup>,对杨梅酒风味物质的产生具有重要作用,因为它也是与乙醇作用生成乙酸乙酯的原料。

### 2.2 两种杨梅酒挥发性物质的定量分析

醇类化合物是构成杨梅酒香气的主要成分。由表2可知,在两种杨梅酒中,乙醇D是两种酒中共有的含量最高的醇类物质,具有令人愉悦的香味;异戊醇D是含量仅次于乙醇D的醇类物质,具有白兰地的香气,丰富了酒体的口感<sup>[14]</sup>。除此之外,发酵型杨梅酒还具有独特的醇类物质,如1-丙醇、己醇、3-甲基-1-戊醇等,其中1-丙醇具有类似于乙醇的香味,己醇有芬芳的水果香气。浸泡型杨梅酒特有的醇类物质是3-甲基-2-丁醇。酯类化合物在浸泡型杨梅酒中的含量要高于发酵型杨梅酒,主因是浸泡型杨梅酒制造过程中加入了食用酒精。

酯类化合物一般具有花香果香的特点,在香气成分中的贡献较大。由表2可知,两种酒样中共有20种酯类物质,发酵型杨梅酒的酯类成分相对含量较高的前5位依次为乙酸乙酯>己酸乙酯>丁酸乙酯>乙酸异戊酯M>乙酸甲酯,浸泡型杨梅酒的酯类成分相对含量较高的前5位依次为己酸乙酯>乙酸乙酯>丁酸乙酯>戊酸乙酯>丙酸乙酯。乙酸乙酯具有令人愉悦的果香的酒香,己酸乙酯具有水果的香味,丁酸乙酯具有清灵强烈的甜果香味,乙酸异戊酯具有香蕉的香味<sup>[15]</sup>,戊酸乙酯具有苹果的香气。在发酵型杨梅酒中,乙酸乙酯为酯类化合物中含量最高的,是由于在酒精发酵过程中,乙醇和乙酸发生了酯化反应。而浸泡型杨梅酒中已经不存在或者极少存在酒精发酵,因此在酯类化合物中,乙酸乙酯含量不是最高的。

醛类化合物中,丁醛具有飘逸的清香味,2-己烯醛具有令人愉快的绿叶清香和水果香气,2-甲基丙醛具有刺激性的气味。酮类化合物由于其感觉阈值较低<sup>[16]</sup>,因而对杨梅酒的风味贡献较大,丙酮和3-戊酮都具有令人愉快的芳香气味,1-辛烯-3-酮具有蘑菇的香气。吡嗪类化合物,2,6-二甲基吡嗪具有咖啡和炒花生的香气,甲基吡嗪具有坚果的香味,但是在两种酒中,吡嗪类的化合物含量

表 1 发酵型和浸泡型杨梅酒的挥发性物质定性分析<sup>†</sup>

Table 1 Qualitative analysis of volatile compounds of fermented and soaked bayberry wine

化合物名称	分子式	相对分子质量	R <sub>1</sub> 保留指数	R <sub>1</sub> 保留时间/s	D <sub>1</sub> 迁移时间/ms	化合物名称	分子式	相对分子质量	R <sub>1</sub> 保留指数	R <sub>1</sub> 保留时间/s	D <sub>1</sub> 迁移时间/ms
丙醛单体	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O	58.1	794.9	257.200	1.067	1-丁醇	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> O	74.1	1 119.7	570.746	1.388
丙醛二聚体	C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> O	58.1	796.4	257.886	1.146	3-甲基丁醇单体	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> O	88.1	1 178.3	678.694	1.322
2-甲基丙醛	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> O	72.1	807.2	263.158	1.279	3-甲基丁醇二聚体	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> O	88.1	1 176.9	676.451	1.506
丙酮	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O	58.1	812.7	265.803	1.113	己酸乙酯	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub> O <sub>2</sub>	144.2	1 197.1	710.596	1.796
乙酸乙酯	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>	88.1	876.7	296.801	1.337	2,6-二甲基吡嗪	C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> N <sub>2</sub>	108.1	1 291.0	890.670	1.540
丁醛	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> O	72.1	898.7	307.564	1.287	辛醛	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub> O	128.2	1301.3	912.371	1.402
丙酸乙酯单体	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> O <sub>2</sub>	102.1	953.8	343.490	1.265	醋酸	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O <sub>2</sub>	60.1	1 428.9	1 183.140	1.152
丙酸乙酯二聚体	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> O <sub>2</sub>	102.1	954.6	344.025	1.455	1-丙醇 <sup>#</sup>	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> O	60.1	1 025.6	416.784	1.259
甲酸异丁酯	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> O <sub>2</sub>	102.1	961.7	348.626	1.510	甲基吡嗪单体 <sup>#</sup>	C <sub>5</sub> H <sub>8</sub> N <sub>2</sub>	94.1	1 242.0	786.542	1.206
异丁酸乙酯单体	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>2</sub>	116.2	964.5	350.455	1.316	甲基吡嗪二聚体 <sup>#</sup>	C <sub>5</sub> H <sub>8</sub> N <sub>2</sub>	94.1	1 241.5	785.593	1.400
异丁酸乙酯二聚体	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>2</sub>	116.2	964.7	350.564	1.561	己醇单体 <sup>#</sup>	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub> O	102.2	1 300.7	911.134	1.327
乙醇单体	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O	46.1	965.1	350.819	1.042	己醇二聚体 <sup>#</sup>	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub> O	102.2	1 301.0	911.752	1.642
乙醇二聚体	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O	46.1	986.5	366.439	1.134	(Z)-3-己烯-1-醇单体 <sup>#</sup>	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O	100.2	1 330.0	973.216	1.235
醋酸丙酯	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> O <sub>2</sub>	102.1	975.4	357.587	1.482	(Z)-3-己烯-1-醇二聚体 <sup>#</sup>	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O	100.2	1 329.4	972.022	1.509
戊醛	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> O	86.1	981.3	361.382	1.425	3-甲基-1-戊醇 <sup>#</sup>	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub> O	102.2	1 330.0	973.216	1.311
2-戊酮	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> O	86.1	983.5	362.874	1.371	冰片 <sup>#</sup>	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O	154.3	1 698.9	1 755.888	1.218
3-戊酮	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> O	86.1	984.0	363.284	1.357	3-甲基-2-戊酮 <sup>*</sup>	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O	100.2	1 038.2	433.062	1.484
2-甲基丙酯	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>2</sub>	116.2	1 006.2	391.798	1.612	3-甲基-2-丁醇 <sup>*</sup>	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> O	88.1	1 089.9	512.730	1.436
3-甲基-2-戊酮	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O	100.2	1 006.3	391.981	1.475	戊酸乙酯 <sup>*</sup>	C <sub>7</sub> H <sub>14</sub> O <sub>2</sub>	130.2	1 112.8	557.188	1.679
丁醇单体	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> O	74.1	1 013.4	401.097	1.236	巴豆酸乙酯 <sup>*</sup>	C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> O <sub>2</sub>	114.1	1 140.0	610.051	1.554
丁醇二聚体	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> O	74.1	1 013.0	400.516	1.330	2-乙炔醛 <sup>*</sup>	C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> O	98.1	1 159.0	646.097	1.512
丁酸乙酯	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>2</sub>	116.2	1 027.0	418.671	1.560	乙酸甲酯 <sup>*</sup>	C <sub>7</sub> H <sub>14</sub> O <sub>2</sub>	130.2	1 160.0	647.903	1.677
乙酸甲酯	C <sub>7</sub> H <sub>14</sub> O <sub>2</sub>	130.2	1 160.0	647.903	1.677	1,8-桉树脑 <sup>*</sup>	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O	154.3	1 219.6	748.581	1.733
己醛	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O	100.2	1 038.6	433.610	1.251	1-辛烯-3-酮 <sup>*</sup>	C <sub>8</sub> H <sub>14</sub> O	126.2	1 251.8	807.420	1.680
2-甲基丁酸乙酯	C <sub>7</sub> H <sub>14</sub> O <sub>2</sub>	130.2	1 051.9	450.634	1.654	乙酸丙酯单体 <sup>*</sup>	C <sub>9</sub> H <sub>18</sub> O <sub>2</sub>	158.2	1 278.8	864.685	1.856
2-甲基-1-丙醇单体	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> O	74.1	1 075.6	485.027	1.253	乙酸丙酯二聚体 <sup>*</sup>	C <sub>9</sub> H <sub>18</sub> O <sub>2</sub>	158.2	1 279.6	866.421	1.915
2-甲基-1-丙醇二聚体	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> O	74.1	1 075.4	484.612	1.371	对伞花烃 <sup>*</sup>	C <sub>10</sub> H <sub>14</sub>	134.2	1 291.3	891.305	1.727
乙酸-2-甲基丁酯	C <sub>7</sub> H <sub>14</sub> O <sub>2</sub>	130.2	1 096.6	525.844	1.294	(E)-2-庚烯醛 <sup>*</sup>	C <sub>7</sub> H <sub>12</sub> O	112.2	1 291.8	892.183	1.664
乙酸异戊酯单体	C <sub>7</sub> H <sub>14</sub> O <sub>2</sub>	130.2	1 101.9	536.038	1.408	(E)-3-己烯-1-醇 <sup>*</sup>	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O	100.2	1 371.6	1 061.566	1.237
乙酸异戊酯二聚体	C <sub>7</sub> H <sub>14</sub> O <sub>2</sub>	130.2	1 102.1	536.452	1.747						

<sup>†</sup> # 发酵型杨梅酒中特有的挥发性物质；\* 浸泡型杨梅酒中特有的挥发性物质。

表 2 发酵型和浸泡型杨梅酒化合物峰体积<sup>†</sup>

Table 2 Peak volumes of fermented and soaked bayberry wine compounds

物质种类	化合物	发酵型杨梅酒(FW)	浸泡型杨梅酒(SW)	FW 峰体积占比/%	SW 峰体积占比/%
酯类	乙酸乙酯	23 390.74±16.63	29 859.93±96.09	5.11	4.35
	己酸乙酯	7 216.62±245.08	103 684.51±374.28	1.58	15.09
	丁酸乙酯	5 553.41±76.48	27 338.23±211.48	1.21	3.98
	乙酸异戊酯 M	1 969.26±136.06	813.86±11.76	0.43	0.12
	乙酸甲酯	1 163.69±18.64	1 982.55±6.47	0.25	0.29
	丙酸乙酯 M	988.50±33.57	1 280.14±27.49	0.22	0.19
	丙酸乙酯 D	803.11±26.84	2 126.82±73.29	0.18	0.31
	异丁酸乙酯 D	596.47±6.68	1 241.89±18.39	0.13	0.18
	异丁酸乙酯 M	483.33±3.06	596.32±22.21	0.11	0.09
	2-甲基丙酯	326.00±2.52	101.93±3.89	0.07	0.01

续表 2

物质种类	化合物	发酵型杨梅酒(FW)	浸泡型杨梅酒(SW)	FW 峰体积占比/%	SW 峰体积占比/%	
酯类	甲酸异丁酯	310.78±15.67	650.55±26.99	0.07	0.09	
	醋酸乙酯	269.86±12.26	122.90±9.23	0.06	0.02	
	2-甲基丙酯	211.85±18.51	395.31±25.50	0.05	0.06	
	2-甲基丁酸乙酯	49.47±4.55	348.20±21.09	0.01	0.05	
	戊酸乙酯	—	17 497.72±147.19	—	2.55	
	乙酸丙酯 M	—	1 337.48±64.00	—	0.19	
	乙酸甲酯	—	1 537.80±37.72	—	0.22	
	巴豆酸乙酯	—	424.25±4.87	—	0.06	
醇类	乙醇 D	268 663.64±3 456.12	335 017.10±4 831.32	58.70	48.75	
	乙醇 M	74 657.28±1 868.50	91 495.61±468.22	16.31	13.31	
	3-甲基丁醇 D	22 718.36±372.57	14 554.74±219.63	4.96	2.12	
	乙酸异戊酯 D	13 543.48±137.24	2 412.43±75.95	2.96	0.35	
	2-甲基-1 丙醇 D	3 461.90±179.75	1 840.41±102.66	0.76	0.27	
	3-甲基丁醇 M	2 753.64±39.45	3 848.52±35.59	0.60	0.56	
	2-甲基-1 丙醇 M	2 552.82±46.81	2 266.81±77.38	0.56	0.33	
	1-丙醇	1 864.70±80.70	—	0.41	—	
	己醇 M	1 409.51±77.84	—	0.31	—	
	1-丁醇	1 357.60±65.17	2 190.02±45.17	0.30	0.32	
	丁醇 M	1 302.05±20.79	3 383.25±67.81	0.28	0.49	
	3-甲基-1 戊醇	1 277.71±26.33	—	0.28	—	
	丁醇 D	600.20±11.49	5 982.90±318.75	0.13	0.87	
	(Z)-3-己烯-1-醇 D	506.20±26.83	—	0.11	—	
	(Z)-3-己烯-1-醇 M	438.78±7.28	—	0.10	—	
	己醇 D	379.09±12.14	—	0.08	—	
	3-甲基-2-丁醇	—	150.34±11.16	—	0.02	
	(E)-3 己烯-1-醇	—	229.03±22.35	—	0.03	
	醛类	辛醛	2 052.01±26.75	334.96±61.96	0.45	0.05
		己醛	718.51±10.29	179.03±5.54	0.16	0.03
丙醛 M		668.49±8.36	1 381.61±67.98	0.15	0.20	
戊醛		407.00±9.15	147.02±9.47	0.09	0.02	
丁醛		169.97±3.50	166.26±1.91	0.04	0.02	
2-甲基丙醛		162.79±6.35	333.64±27.67	0.04	0.05	
丙醛 D		90.00±5.85	347.23±39.51	0.02	0.05	
(E)-2 庚烯醛		—	6 410.65±503.68	—	0.93	
2-乙醛		—	407.62±10.47	—	0.06	
酮类		丙酮	3 082.13±39.36	3 470.31±48.93	0.67	0.51
	2-戊酮	475.01±10.31	333.25±3.72	0.10	0.05	
	3-戊酮	390.93±12.61	320.61±12.97	0.09	0.05	
	3-甲基-2 戊酮	92.23±3.84	225.60±11.76	0.02	0.03	
	1-辛烯-3-酮	—	510.48±19.27	—	0.07	
	3-甲基-2 戊酮	—	1 073.82±14.63	—	0.16	
	吡嗪类	甲基吡嗪 M	1 025.71±88.14	—	0.22	—
2,6-二甲基吡嗪		675.13±46.78	9 624.66±1 277.08	0.15	1.40	
甲基吡嗪 D		103.97±3.01	—	0.02	—	
酸类	醋酸	5 912.07±930.08	5 306.90±351.60	1.29	0.77	
	冰片	881.32±78.17	—	0.19	—	
其他	对伞花烃	—	1 029.87±73.97	—	0.15	
	1,8-桉树脑	—	656.76±11.66	—	0.10	

† M 表示挥发性物质的单体;D 表示挥发性物质的二聚体;—表示未检出。

较少。在两种酒中还检测出了对伞花烃、1,8-桉树脑,其中对伞花烃具有芳香的气味,1,8-桉树脑具有清新爽朗的香气。

### 2.3 两种杨梅酒挥发性物质的 GC-IMS 图谱对比分析

图 1 为两种杨梅酒的二维气相色谱离子迁移图谱,图中不同的颜色代表物质的浓度不同,白色表示浓度较低,红色表示浓度较高,颜色越深表示浓度越大。由图 1 可知,不同制作工艺的杨梅酒的挥发性物质具有一些相同的和不同的特征物质。将二维图谱中的每个点对应的物质用虚线框圈起来,用数字表示该点所对应的挥发性物质,得知两种杨梅酒所含有的一些挥发性物质浓度有所不同,所含有的物质也有所差异。为了更清晰地观察两种杨梅酒挥发性物质成分的差异,可以使用差异图模

式进行对比,试验以发酵型杨梅酒谱图为背景参照,浸泡型杨梅酒谱图中既有代表该位置化合物浓度更高的红色斑点,又有代表该位置化合物浓度较低的蓝色斑点,见图 2。

### 2.4 两种杨梅酒挥发性物质的指纹图谱分析

不同工艺制作的杨梅酒挥发性物质的指纹图谱如图 3 和图 4 所示,图 3 是未知挥发性物质的指纹图谱,图 4 是已知挥发性物质的指纹图谱,由两图可知不同工艺制作的杨梅酒的挥发性物质有很大的差异。从发酵型杨梅酒中检出 1-丙醇、(Z)-3-己烯-1-醇、己醇、2-甲基-1-丙醇、3-甲基-1-戊醇、3-甲基丁醇、冰片、乙酸 2-甲基丙酯、乙酸异戊酯、己酸丙酯、戊醛、己醛、辛醛、2-戊酮、甲基吡嗪、醋酸等物质的含量比在浸泡型杨梅酒中的高,其中 1-

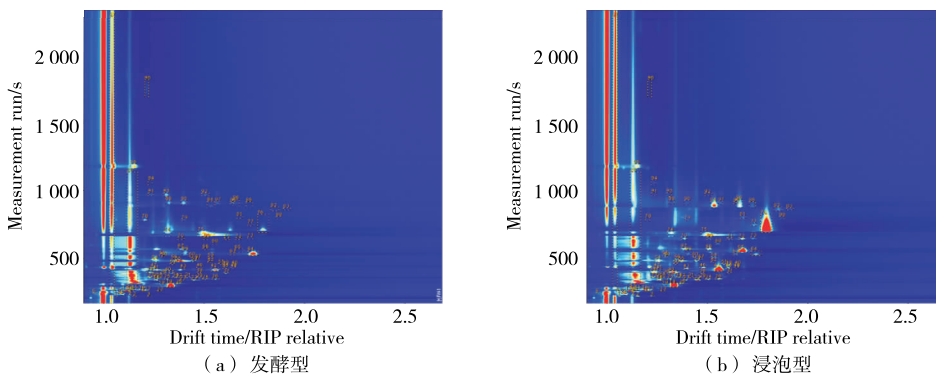


图 1 发酵型和浸泡型杨梅酒样本的气相色谱离子迁移谱图(二维图)

Figure 1 Gas chromatographic ion migration spectra offermented and soaked waxberry wine samples (2d figure)

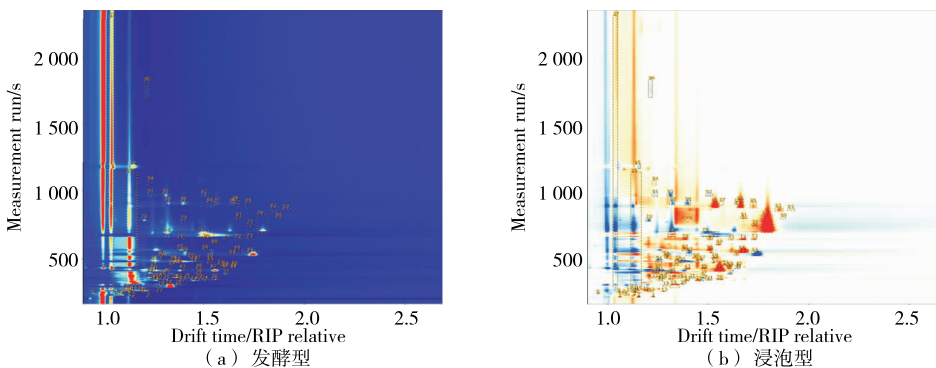
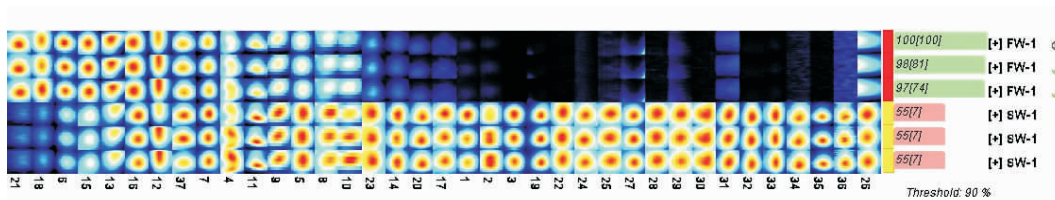


图 2 发酵型和浸泡型杨梅酒样本的气相色谱离子迁移谱差异图

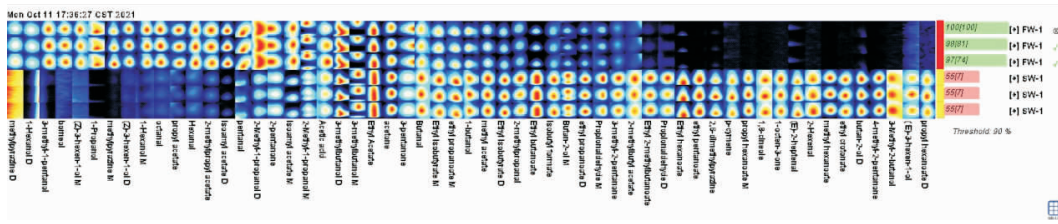
Figure 2 Difference of ion migration spectra offermented and soaked waxberry wine samples by GAS chromatography



图中每一行代表一个样品中选取的全部信号峰,图中每一列代表同一挥发性有机物在不同样品中的信号峰

图 3 两种杨梅酒未知挥发性物质的指纹图谱

Figure 3 Fingerprints of unknown volatile substances in two kinds of health bayberry wine



图中每一行代表一个样品中选取的全部信号峰,图中每一列代表同一挥发性有机物在不同样品中的信号峰

图4 两种杨梅酒定性挥发性物质的指纹图谱

Figure 4 Fingerprint of qualitative volatile substances in two kinds of health bayberry wine

丙醇、己醇、(Z)-3-己烯-1-醇、3-甲基-1-戊醇、冰片、甲基吡嗪等物质仅存在于发酵型杨梅酒中,是这种杨梅酒中的特征成分。对于未知挥发物,21、18、6、15、13、16在发酵型杨梅酒中含量更高,4、11、9、5、8、10、23、14、23、20、17、1、2、19在浸泡型杨梅酒中含量更高,其中3、22、24-36、26仅在浸泡型杨梅酒存在。各种挥发物之间的相互作用构成了杨梅酒的不同风味特征,对比两种不同制作工艺的杨梅酒,浸泡型杨梅酒的挥发性风味物质的种类更多,说明发酵型杨梅酒在发酵的过程中损失了很多挥发性物质,相比发酵型杨梅酒,浸泡型杨梅酒的风味更加浓郁。

### 3 结论

通过GC-IMS技术检测两种杨梅酒中的挥发性物质,最终共检出并定性了59种挥发性物质,其中醇类18种,酯类19种,醛类9种,酮类6种,吡嗪类及其衍生物3种,酸类1种,其他类3种。经过对检出的挥发性物质进行分析得知,乙醇为两种酒中含量最高的醇类物质;酯类物质中,发酵型杨梅酒中乙酸乙酯的含量最高,浸泡型杨梅酒中己酸乙酯的含量最高;醋酸在发酵型杨梅酒中的含量要高于浸泡型杨梅酒;酮类物质在两种酒中的含量相当;醛类和吡嗪类物质在浸泡型杨梅酒中的含量要高于发酵型杨梅酒。发酵型杨梅酒中的醇类物质种类丰富,浸泡型杨梅酒中的醇类物质在种类上要低于发酵型杨梅酒,但乙醇含量要高于发酵型杨梅酒。浸泡型杨梅酒中的酯类物质在种类和含量上要优于发酵型杨梅酒。综上,可以通过两种杨梅酒所含的挥发性物质成分的不同,来区分杨梅酒是哪种工艺制作的,为后续采用电子鼻或电子舌对两种杨梅酒的挥发性物质成分的测定提供一定的理论依据。研究的不足之处在于气相离子迁移色谱的数据库信息还不能完全将所有的挥发性物质检测出来,因此接下来将借助其他方法来检测鉴定杨梅酒中的未知挥发性物质,为更加全面的辨别分析两种工艺制作的杨梅酒的差别进行补充。

### 参考文献

[1] 林雨晴,杨颖,陆胜民. 杨梅的功能特性及其综合利用[J]. 食品

科技, 2020, 45(7): 108-111.

LIN Yu-qing, YANG Ying, LU Sheng-min. The functional characteristics of bayberry and its comprehensive utilization[J]. Food Science and Technology, 2020, 45(7): 108-111.

[2] 张倩茹,殷龙,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.

[3] 高甜甜,阳秀莲,曾琦鹏,等. 杨梅果酒发酵工艺的优化及香气成分分析[J]. 食品工业, 2021, 42(6): 150-155.

GAO Tian-tian, YANG Xiu-lian, ZENG Qi-peng, et al. Optimization of fermentation process and analysis of aroma components of red bayberry wine[J]. The Food Industry, 2021, 42(6): 150-155.

[4] 曹玉玺. 杨梅发酵酒风味与护色及抗氧化活性的研究[D]. 宁波: 宁波大学, 2020: 11.

CAO Yu-xi. Study on flavor, color protection and antioxidant activity of fermented bayberry wine[D]. Ningbo: Ningbo University, 2020: 11.

[5] 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, 281.

QI Xing-pu, CHEN Tong, LIU Ping, et al. Origin identification of yellow wine based on gas chromatography-ion mobility spectrometry[J]. Science and Technology of Food Industry, 2019, 40(22): 273-276, 281.

[6] 黄星奕,吴梦紫,马梅,等. 采用气相色谱-离子迁移谱技术检测黄酒风味物质[J]. 现代食品科技, 2019, 35(9): 271-276, 226.

HUANG Xing-yi, WU Meng-zi, MA Mei, et al. Determination of flavor substances of Chinese rice wine by gas chromatography-ion mobility spectrometry[J]. Modern Food Science and Technology, 2019, 35(9): 271-276, 226.

[7] 曹玉玺,吴祖芳,翁佩芳. 酚酸类物质对杨梅发酵酒贮藏期间色泽和挥发性风味物质的影响[J]. 食品科学, 2021, 42(11): 78-85.

CAO Yu-xi, WU Zu-fang, WENG Pei-fang, et al. Effect of phenolic acids on color and volatile flavor compounds of red bayberry wine during Storage[J]. Food Science, 2021, 42(11): 78-85.

(下转第179页)