

顶空固相微萃取 - 气相色谱 - 质谱法测定苹果渣发酵蒸馏酒的香气成分

王 阳, 王 颖*, 刘亚琼, 刘 征, 范婧芳
(河北农业大学食品科技学院, 河北 保定 071000)

摘 要: 以顶空固相微萃取 - 气相色谱 - 质谱法测定苹果渣发酵蒸馏酒和酒精浸泡苹果渣蒸馏酒中的香气成分。经过鉴定分析, 在苹果渣发酵蒸馏酒中, 共测得 57 种挥发性香气成分, 其中酯类物质 30 种、羧酸类物质 5 种、醇类物质 6 种、酮类物质 1 种、烃类物质 14 种、其他香气物质 1 种, 相对含量分别占总挥发性香气物质的 50.604%、6.322%、22.207%、0.254%、20.542%、0.013%; 在酒精浸泡苹果渣蒸馏酒中, 共测得 37 种挥发性香气成分, 其中酯类物质 22 种、羧酸类物质 3 种、醇类物质 2 种、烃类物质 9 种、其他香气物质 1 种, 相对含量分别占总挥发性香气物质的 64.272%、2.538%、14.885%、17.437%、0.911%。通过比较分析, 苹果渣发酵蒸馏酒中香气成分的种类显著多于酒精浸泡苹果渣蒸馏酒, 香气成分分布更加均匀, 口感更加醇厚自然, 层次感更强。发酵结束后, 酒体在保留苹果渣中营养成分的同时, 也具有苹果的独特香气。研究说明苹果渣用于生产发酵蒸馏酒是更加利于其综合利用的一种途径。

关键词: 顶空固相微萃取; 气相色谱 - 质谱法; 苹果渣发酵酒; 香气成分

Determination of Aroma Components in Distilled Fermented Apple Pomace Wine by Head Space Solid Phase Microextraction (HS-SPME) and GC-MS

WANG Yang, WANG Jie*, LIU Ya-qiong, LIU Zheng, FAN Jing-fang
(College of Food Science and Technology, Agricultural University of Hebei, Baoding 071000, China)

Abstract: The volatile aroma components of distilled fermented apple pomace wine and distilled alcohol-immersed apple pomace wine were analyzed by HS-SPME and GC-MS. A total of 57 volatile compounds were found in distilled wine fermented from apple pomace, including 30 esters, 5 carboxylic acids, 6 alcohols, 1 ketone, 14 hydrocarbons and 1 unknown compound, of which the relative contents were 50.604%, 6.322%, 22.207%, 0.254%, 20.542% and 0.013%, respectively; 37 volatile compounds were found in distilled alcohol-immersed apple pomace wine, including 22 esters, 3 carboxylic acids, 2 alcohols, 9 hydrocarbons and 1 unknown compounds, of which the relative contents were 64.272%, 2.538%, 14.885%, 17.437% and 0.911%, respectively. These results show that distilled wine fermented from apple pomace contains much more volatile compounds compared to distilled alcohol-immersed apple pomace wine. Moreover, it was found that the former presented a more even distribution of volatile compounds, a more mellow and natural taste, and a better sense of hierarchy. The nutrients and unique aroma of apple pomace were retained in the fermented wine. This study demonstrates that fermentation of apple pomace to produce distilled wine is a better approach for comprehensive utilization of apple pomace.

Key words: head space-solid phase micro extraction (HS-SPME); gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS); distilled fermented apple pomace wine; aroma components

中图分类号: TS262.7

文献标识码: A

文章编号: 1002-6630(2012)12-0205-05

2002 年以来我国苹果年产量稳定达到 2000 万吨左右, 约占世界总产的 40% 以上^[1]。据有关数据表明, 其

中 20%(将近 450 万吨)的苹果用作果汁加工, 并随着我国榨汁工业的发展而不断提升^[2]。苹果榨汁后会产生大

收稿日期: 2012-03-05

基金项目: 河北省科技计划项目(11221004D)

作者简介: 王阳(1985—), 男, 硕士研究生, 研究方向为食品加工新技术。E-mail: saltduck-2002@163.com

* 通信作者: 王颖(1959—), 男, 教授, 博士, 研究方向为食品科学与工程。E-mail: wj591010@163.com

量的副产品——苹果渣, 约占总质量的 25%~40%。这些苹果渣除少量被直接利用外, 绝大部分被遗弃^[3], 造成巨大的资源浪费和严重的环境污染, 成为困扰企业发展的重要问题之一。鲜苹果渣富含粗纤维、粗脂肪、灰分、蛋白质、可溶性糖等营养物质^[4], 国内外在利用苹果渣制备果胶、膳食纤维、果酱、酒精、食用菌培养基质、柠檬酸、低聚糖、酶制剂等方面均进行了深度开发, 但尚未达到产业化的生产要求, 苹果渣利用至今在企业生产中仍然是一个亟待解决的问题。由于苹果渣糖分和营养物质含量丰富, 可作为生产果酒的原材料。用苹果渣制备果酒, 不仅解决了苹果渣的处理难题, 其副产物还可提取膳食纤维或者作为动物饲料^[5-7], 其多方面的经济价值均远高于未经处理的苹果渣。同时也开辟出一条新的加工渠道, 增加了果汁企业长远发展的经济效益。

果酒的香气成分是构成和影响果酒品质的重要因素之一, 在香气成分检测方面, 顶空固相微萃取(head space solid phase micro extraction, HS-SPME)技术因其简单、高效和准确的特点得到了越来越广泛的关注^[8]。汪立平等^[9]利用顶空固相微萃取法测定了苹果酒的香气成分, 王晓茹等^[10]进行了苹果酒酿造工艺及高级醇的气相色谱(gas chromatography, GC)分析研究。采用顶空固相微萃取法对苹果渣蒸馏酒的香气成分进行比较分析的研究国内尚未见报道。本实验在前期优化发酵工艺的基础上制得苹果渣发酵蒸馏酒, 通过顶空固相微萃取-气相色谱-质谱法分别测定苹果渣发酵蒸馏酒以及酒精浸泡苹果渣蒸馏酒的香气成分, 比较二者的异同, 揭示苹果渣果酒香气的构成, 为苹果渣果酒的加工和品质改良提供参考, 促进苹果渣的有效综合利用。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

红富士苹果选择大小均一, 成熟度基本一致, 无损伤、无病虫害。

DZKW-C 电子恒温水浴锅 北京光明医疗仪器厂; 7890A-5975C 气相-质谱联用仪 美国安捷伦公司; 顶空固相微萃取装置(手动进样手柄、50/30 μm DVB/CAR on PDMS 双极性萃取纤维头) 美国 Supelco 公司。

1.2 方法

1.2.1 样品处理

苹果渣: 采用压榨方式将苹果汁渣分离制得新鲜果渣; 苹果渣原浆: 苹果渣中混合 1:2 配比的新鲜苹果浆, 新鲜苹果浆用红富士苹果(市面无法直接进行销售的虫果, 畸形果等)采用高速组织捣碎机打浆制得。

1.2.2 果酒制备工艺流程

苹果渣发酵蒸馏酒: 苹果渣原浆→加热预处理 20min→添加 0.6%果胶酶和 0.3%纤维素酶→添加 40mg/L

的 SO_2 抑菌→调整初始 pH 值为 4.0→接种 0.6%安琪活性干酵母→25℃发酵 12d→常压蒸馏→苹果渣发酵蒸馏酒。

酒精浸泡苹果渣蒸馏酒: 苹果渣→加热预处理 20min→添加 0.6%的果胶酶和 0.3%的纤维素酶→添加 40mg/L 的 SO_2 抑菌→浸泡于一定比例的酒精溶液中→调整初始 pH 值为 4.0→25℃浸泡 12d→常压蒸馏→酒精浸泡苹果渣蒸馏酒。

1.2.3 酵母活化

按发酵液总质量 0.6%的添加量称取安琪活性干酵母, 用 2% 的糖水 38℃复水 20min, 然后在 32℃条件下活化 1.5h, 使菌数水平达到 10^8 个/mL, 用于混合发酵。

1.2.4 顶空固相微萃取操作

取两种不同果酒各 6mL 放于 15mL 钳口瓶中, 加入 2.2g NaCl(以减少挥发物的损失和避免褐变), 用聚四氟乙烯隔垫密封, 在电子恒温水浴锅中加热 45℃平衡 15min 后, 通过隔垫插入已活化好的 50/30 μm DVB/CAR on PDMS 萃取纤维头(270℃活化 30min), 推出纤维头, 保持在 45℃恒温顶空吸附 40min 后, 插入 GC-MS 进样口进行香气成分的分离鉴定。

1.2.5 气相-质谱条件

GC-MS 测定条件: 采用气质联用仪, HP-5MS 色谱柱(19091S-413, 30m \times 0.25mm, 0.25 μm)。

色谱条件: 柱流量 0.8mL/min, 进样口温度 250℃, 分流比 20:1, 柱温 35℃保持 5min, 再以 3℃/min 升至 100℃, 再以 4℃/min 升至 230℃, 保留 5min。

质谱条件: 接口温度 250℃, 全扫描, 扫描区域 14~500u; 电离方式 EI, 电离电压 70eV, 温度 230℃; 质量分析器: 四极杆, 温度 150℃。

2 结果与分析

2.1 两种苹果渣蒸馏酒香气成分分析

采用顶空固相微萃取法和气相色谱质谱联用法对苹果渣发酵蒸馏酒和酒精浸泡苹果渣蒸馏酒中的香气成分进行检测, 得到可挥发性香气成分总离子流图, 如图 1、2 所示。

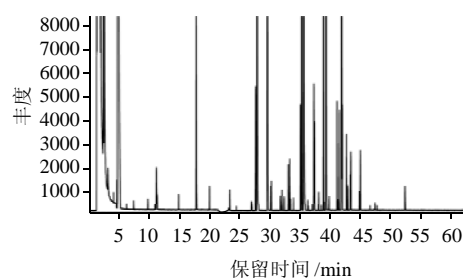


图 1 苹果渣发酵蒸馏酒总离子流图

Fig.1 Total ion current chromatogram of volatiles in distilled fermented apple pomace wine

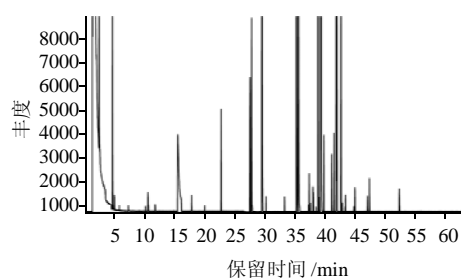


图2 酒精浸泡苹果渣蒸馏酒总离子流图

Fig.2 Total ion current chromatograms of volatiles in distilled alcohol-immersed apple pomace wine

2.2 苹果渣发酵蒸馏酒、酒精浸泡苹果渣蒸馏酒香气成分分析对比结果

通过计算机检索,并与NIST-2005质谱库提供的标准质谱图对照匹配,得到定性结果,通过积分法和归一百分比法得到这两种苹果渣酒中香气成分的相对百分含量,如表1所示,其中1号样品为苹果渣发酵蒸馏酒,2号样品为酒精浸泡苹果渣蒸馏酒。

表1 两种苹果渣酒中主要香气成分的种类及其相对含量

Table 1 Major aroma components and their relative contents in two different apple pomace wines

序号	保留时间/min	化合物	1号样品		2号样品	
			相对含量/%	匹配度/%	相对含量/%	匹配度/%
1	1.664	乙醇	15.032	80.6	14.880	85.1
2	2.057	乙酸	0.829	85.4		
3	2.092	乙醇酸	5.060	90.6	1.496	88.4
4	2.481	乙酸乙酯	3.520	89.5	4.268	92.5
5	2.643	正丙醇	1.758	76.2		
6	3.238	2-甲基-3-乙基环氧乙烷	0.115	81.4		
7	4.699	1,1-二乙氧基乙烷			0.576	91.3
8	4.737	1-乙氧基-3-己烯	0.045	86.3		
9	4.884	2-甲基-1丙醇	0.430	90.7		
10	4.991	2-甲基-1-丁醇	4.299	80.4		
11	6.346	4-羟基-2-十一烯	0.007	71.5		
12	9.875	丙二酸二乙酯	0.011	81.2		
13	10.606	2-甲基-3-羧基-4,6-辛二烯			0.085	72.3
14	10.885	香叶基丙酮	0.254	85.1		
15	11.335	乙酸丁酯	0.363	88.9	4.237	91.4
16	11.404	乙酸丙酯	0.015	74.2		
17	14.949	2-甲基丁酸	0.027	70.7		
18	15.586	苯甲酸			1.013	92.5
19	17.862	2-羧基-3-甲基-丁酸甲酯			0.031	84.6
20	17.849	己酸乙酯	0.882	80.2		
21	20.054	特戊酸-2-甲基丙酯	0.035	71.1		
22	22.772	1,1-二乙氧基正己烷			0.227	85.4
23	22.921	2-甲基丁酸丁酯	0.854	84.2	0.938	88.5
24	27.342	乙酸己酯	3.016	91.5	11.187	90.1
25	27.676	丁酸己酯	0.821	83.4	4.162	83.4
26	27.775	丙酸 2-甲基己酯	0.112	81.5	0.985	88.5
27	27.937	辛酸乙酯	5.152	93.3	1.038	87.5

续表 1

序号	保留时间/min	化合物	1号样品		2号样品	
			相对含量/%	匹配度/%	相对含量/%	匹配度/%
28	28.015	丁酸乙酯	1.421	74.5	6.577	77.3
29	28.223	己醇	0.375	77.6		
30	29.637	2-甲基丁酸己酯	8.451	80.8	6.822	78.3
31	29.884	3-甲基丁酸己酯	0.351	83.6	1.231	81.5
32	30.170	乙酸 2-甲基丁酯	0.035	78.5		
33	30.286	己酸异戊酯	0.145	70.2		
34	30.654	己酸	0.329	88.4	0.029	84.5
35	31.524	庚酸乙酯	0.090	77.6		
36	31.767	1-辛醇	0.313	74.5		
37	33.093	2-甲基庚酸	0.077	88.4		
38	33.319	惕各酸丁酯	0.290	81.1	0.211	79.9
39	33.467	3-甲基噻吩	0.013	89.1		
40	33.933	正辛酸异丁酯	0.107	87.5		
41	35.082	4-癸烯酸乙酯	0.226	75.1		
42	35.302	己酸己酯	4.613	90.5	6.435	84.5
43	35.668	癸酸乙酯	11.525	79.7	8.883	82.1
44	37.313	辛酸-2-甲基丁酯	0.402	74.1	0.076	79.1
45	37.402	3,7-二甲基丁酯			0.976	84.5
46	38.105	4-氰基-3-甲基苯甲酸甲酯			0.389	71.3
47	39.354	α -法尼烯	16.751	79.9	14.602	85.4
48	39.849	7,11-二甲基-3-亚甲基-1,6,10-十二碳三烯			0.338	74.1
49	40.225	3,7,11-三甲基-1,3,6,10-十二四烯	0.847	71.6	0.037	72.6
50	41.149	1-乙基-3-乙基-2-甲基环戊烷	0.148	83.5		
51	41.254	1-甲基-4-(1-甲基乙基)环己烯	0.148	77.0	0.436	71.4
52	41.530	辛酸己酯	1.848	77.6	2.857	85.4
53	41.905	十二酸乙酯	4.307	84.2	2.300	88.4
54	42.023	二苯基甲烷	0.676	70.1	0.231	75.8
55	42.698	1,4-二乙基-1,4-二甲基-2,5-环己二烯	0.094	75.5		
56	42.695	1,3-二(1-甲基乙基)-1,3-环戊二烯			0.605	70.1
57	42.923	2,6-二甲基-2,4,6-辛三烯	0.031	71.5		
58	42.925	邻苯二甲酸酐			0.911	71.1
59	43.339	4,5-二甲基-1-己烯	0.284	73.5		
60	43.427	5-甲基-4-(2-甲基-2-丙烯)-1,4-己二烯	0.113	79.4		
61	43.847	硫酸异戊酯	0.022	70.9	0.004	73.4
62	43.934	6-乙基-2-甲基-癸烷	0.004	72.8		
63	44.027	1,3-二甲乙基-4,5,5-三甲基环己烷	0.078	74.5		
64	44.632	1-(2-呋喃基)-3-丁烯-1,2-二醇	0.005	71.4		
65	45.123	10-十一烯酸乙酯	0.484	77.6		
66	47.425	2-苯乙基乙酸酯			0.601	91.2
67	47.612	十四酸乙酯	0.746	91.5	0.067	88.9
68	48.407	2-甲基十一酸甲酯	0.076	88.6		
69	52.125	十六酸乙酯	0.884	84.2	0.645	79.6
总计*			100.00		100.00	

注:数据为舍去匹配度小于70%的香气物质后重新归一计算的香气物质相对含量。

表2 两种苹果渣酒不同类别香气成分分析结果
Table 2 Comparative distribution of volatile compounds in two different apple pomace wines

香气成分类别	1号样品		2号样品	
	数量	相对含量/%	数量	相对含量/%
酯类	30	50.604	22	64.272
羧酸类	5	6.322	3	2.538
醇类	6	22.207	2	14.885
酮类	1	0.254	0	0
烃类	14	20.542	9	17.437
其他	1	0.013	1	0.911
共计	57	100.00	37	100.00

从表1、2可以看出：苹果渣发酵蒸馏酒经鉴定共测得57种挥发性香气成分，其中酯类物质30种、羧酸类物质5种、醇类物质6种、酮类物质1种、烃类物质14种、其他香气物质1种，相对含量分别占总挥发性香气物质的50.604%、6.322%、22.207%、0.254%、20.542%、0.013%；酒精浸泡苹果渣蒸馏酒共测得37种挥发性香气成分，中酯类物质22种、羧酸类物质3种、醇类物质2种、烃类物质9种、其他香气物质1种，相对含量分别占总挥发性香气物质的64.272%、2.538%、14.885%、17.437%、0.911%。苹果渣发酵蒸馏酒检出的香气成分种类要显著多于酒精浸泡苹果渣酒。这主要是因为发酵果酒在发酵过程中，酵母菌不但将碳水化合物分解生成两种主要的最终产物乙醇和二氧化碳，还可生成一定数量的其他香气物质。这些在结构上很不相同的物质，统称为发酵的副产物，进一步可分为：初级副产物、次生副产物和一些既不是经过发酵也不是由酵母代谢而是由其他来源产生的物质^[11]，其中大部分挥发性物质即为果酒的发酵香气。发酵果酒的酒香主要包括醇类化合物、酯类化合物、羧酸类化合物、烯烃类化合物及其他化合物^[12]。而酒精浸泡苹果渣蒸馏酒没有酵母发酵过程，仅通过酒精浸泡的方式将苹果渣中的香气物质溶解入酒体中，使酒体带有苹果的特征香气，但香气物质的形成反应过程较酒精发酵简单，表现在香气成分的数量上要明显少于苹果渣发酵蒸馏酒。

通过对两种不同苹果渣蒸馏酒的香气成分分析可以看出，两种蒸馏酒共同检出的主要香气物质为乙醇、乙醇酸、乙酸乙酯、2-甲基丁酸丁酯、乙酸己酯、丁酸己酯、辛酸乙酯、2-甲基丁酸己酯、己酸己酯、癸酸乙酯、 α -法尼烯、辛酸己酯、十二酸乙酯、十六碳酸乙酯等。酯类、醇类和烃类化合物同为这两种苹果渣蒸馏酒的主要挥发性香气成分，相对含量占总挥发性香气物质的90%以上。其中 α -法尼烯、乙酸乙酯、2-甲基丁酸己酯和2-甲基丁酸丁酯、乙酸己酯等香气物质在两种苹果渣蒸馏酒中的含量和所占比例均较高，表明它们对苹果酒特征香味的形成都具有较大贡献。这与

Echeverría等^[13]的测定结果十分相似，其研究结果表明对苹果特征香气贡献最大的是酯类，主要有2-甲基丁酸乙酯、2-甲基丁酸丁酯、乙酸己酯三种酯类物质。两种苹果渣蒸馏酒中均检出 α -法尼烯，它是在苹果果实表皮角质层中大量合成，分别向外蜡质层和向内皮下细胞和果肉薄壁细胞双向转移^[14]，在苹果果实中含量很高，对苹果香气物质的产生和分解具有重要的影响^[15]。研究发现这4种香气成分化学性质比较稳定，在发酵和酒精浸泡的过程中都有生成或保留，因此在这两种蒸馏酒中的香气成分中，相对含量都较高。

香气物质在这两种苹果渣蒸馏酒中的相对含量和分布并不完全相同。如丁酸乙酯、乙酸丁酯和丁酸己酯等香气成分，在酒精浸泡苹果渣蒸馏酒中含量很大，在苹果渣发酵蒸馏酒中却只检出少量，其中丁酸乙酯具有苹果、菠萝的甜果香味，却不持久，极易挥发扩散；辛酸乙酯和癸酸乙酯在苹果渣发酵蒸馏酒中的含量要远大于其在酒精浸泡苹果渣蒸馏酒中的含量，辛酸乙酯具有令人愉快的花果香气(酒-杏子香型)，并且更加稳定，更能持久的保持其香气味道。很大原因在于这两种苹果渣蒸馏酒的制备方式不同，很多酯类在发酵过程中发生了一系列复杂的变化，酯类经过再次地分解和合成，形成了其他的高级酯或其他更加稳定的香味物质。发酵酒的香气物质更加持久，不易挥发，能够保持在酒体内更长的时间，酒精浸泡酒的香气物质也具有苹果的特征香味，却极易挥发扩散，不易长时间保存和贮藏。在香气成分的分布上，苹果渣发酵蒸馏酒经过发酵，生成香气成分的分布质量也明显优于酒精浸泡苹果渣蒸馏酒，发酵生成的酯类物质种类更多，检出许多特有的显香酯类物质，如具有水果香味的乙酸丙酯、己酸乙酯等，除此以外还检出闻香愉快的醇类香气成分正丙醇、1-辛醇，羧酸类香味物质己酸和烯烃类香味物质等，这些化合物使香气更为浓郁^[16]，在一定程度上决定了酒的品质，使其口感更加独特自然，口感复杂更有层次^[17]。

Dimick等^[18]提出对苹果芳香起主要作用的物质为酯类、醇类、醛类、碳水化合物、酮类等。在本次检测中，两种苹果渣蒸馏酒均未发现醛类香气成分，这主要是因为酵母发酵和酒精浸泡的过程中，醛类物质十分不稳定，可以氧化成羧酸后与醇直接酯化^[19]，醛和醇进一步氧化酯化形成了更加稳定的香气物质。

综上所述，苹果渣发酵蒸馏酒相较于酒精浸泡苹果渣蒸馏酒，在保留了苹果中的营养成分的同时，香气成分种类更多，决定酒香质量的香气成分分布更加均匀，口感更加醇厚自然，层次感更强，并具有苹果独特的香气和滋味。

3 结 论

本研究采用顶空固相微萃取法,气相色谱和质谱联用技术对苹果渣发酵蒸馏酒以及酒精浸泡苹果渣蒸馏酒的香气成分进行鉴定和分析。相较于酒精浸泡苹果渣蒸馏酒,苹果渣发酵蒸馏酒的香气物质数量更多,分布更加均匀合理,口感更好,味道更加醇厚,香味层次感更强,因此,苹果渣用于生产发酵果酒是苹果渣有效综合利用的途径之一。

参考文献:

- [1] 李炳志,韩明玉,张林森. 2005年苹果产量质量及市场供求分析[J]. 西北园艺, 2005(8): 40-41.
- [2] 徐广州,冷传祝,陈明亮,等. 中国果蔬汁加工及果汁市场[J]. 饮料工业, 2003, 6(6): 1-4.
- [3] 李巨秀,李志西,杨明泉,等. 果渣资源的综合利用[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2002, 30(9): 103-106.
- [4] 李彩凤,杨福有. 苹果渣的营养成分及利用[J]. 饲料博览, 2001(2): 38.
- [5] 贺克勇,薛泉宏,来航线,等. 苹果渣饲料的营养价值与加工利用[J]. 饲料广角, 2004(4): 26-28.
- [6] HWANG J K, KIM C T, KIM C J. Solubilization of apple pomace by extrusion[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 1998, 22(6): 477-491.
- [7] WALTER R H, RAO M A, SHERMAN R M. Edible fibers from apple pomace[J]. Journal of Food Science, 1985, 50(3): 747-749.
- [8] IBLIEZ E, LÓPEZ-SEBASTIÁN S, RAMOS E, et al. Analysis of volatile fruit components by headspace solid-phase microextraction[J]. Food Chemistry, 1998, 63(2): 281-286.
- [9] 汪立平,徐岩,赵光鳌,等. 顶空固相微萃取法快速测定苹果酒中的香味物质[J]. 无锡轻工大学学报, 2003, 22(1): 1-5.
- [10] 王晓茹,王颀. 苹果酒酿造工艺及高级醇的气相色谱分析[J]. 中国食品学报, 2006, 3(6): 353-356.
- [11] ANOCIBAR BELOQUI A, DE PINHO P G, BERTRAND A. Bis(2-Hydroxyethyl) Disulfide, a new sulfur compound found in wine. Its influence in wine aroma[J]. Ameri J Enolo Viticul (USA), 2000, 46(1): 84-87.
- [12] AJILA C M, BRAR S K, VERMA M, et al. Solid-state fermentation of apple pomace using *Phanerochaete chrysosporium* liberation and extraction of phenolic antioxidants[J]. Food Chemistry, 2011, 126(3): 1071-1080.
- [13] ECHEVERRÍA G, GRAELL J, LÓPEZ M L, et al. Volatile production, quality and aroma-related enzyme activities during maturation of 'Fuji' apples[J]. Postharvest Biology and Technology, 2003, 31(11): 396-408.
- [14] 段亮亮,郭玉蓉,池霞蔚,等. 澳洲青苹果实不同部位香气成分差异分析[J]. 食品科学, 2010, 31(18): 262-266.
- [15] BARDEN C L, BRAMLAGE W J. Relationships of antioxidants in apple peel to changes in α -farnesene and conjugated trienes during storage and to superficial scald development after storage[J]. Postharvest Biology and Technology, 1994, 1(4): 23-33.
- [16] 张明霞,赵旭娜,杨天佑,等. 顶空固相微萃取分析白酒香气物质的条件优化[J]. 食品科学, 2011, 32(12): 49-53.
- [17] 尚宏芹. 苹果酒香气成分研究进展[J]. 中国酿造, 2010, 218(5): 20-22.
- [18] DIMICK P S, HOSKIN J C, ACREE T E. Review of apple flavor-state of the art[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 1983, 18(4): 387-409.
- [19] 张贞发,张小林,余成. 醛类一步氧化酯化合成酯的研究进展[J]. 化工中间体, 2009(4): 9-11.