

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

郝红梅, 张生万, 郭彩霞*, 李美萍
(山西大学生命科学学院, 山西 太原 030006)

摘要: 采用顶空固相微萃取和气相色谱-质谱联用法对山楂果醋易挥发性成分进行提取分析, 通过与NIST 05 a.L 谱库比对, 鉴定得到各个组分, 应用峰面积归一化法测定各成分的相对含量。共分离得到49种化合物, 结构鉴定出36种化合物, 占总易挥发成分总量的98.91%, 对山楂果醋易挥发性成分贡献较大的依次是: 酯类化合物11种, 占40.12%; 酸类化合物6种, 占33.63%; 醇类化合物11种, 占21.79%。此外, 醛类化合物1种, 占0.05%; 酮类化合物2种, 占0.57%; 其他类5种, 占1.55%。初步确定乙酸、乙酸乙酯、乙醇、乙酸-3-甲基丁酯、苯甲酸乙酯、3-甲基丁醇、己酸乙酯、己酸、苯甲酸、乙酸-1-甲基丙酯、2-丁醇、苯乙醇、辛酸、2-甲氧基-4-甲基苯酚是山楂果醋的主要香气成分。以期对山楂果醋的香气特征研究提供科学依据, 为山楂果醋品质感官评价体系的建立和山楂果醋产业发展提供参考。

关键词: 山楂果醋; 易挥发成分; 顶空固相微萃取; 气相色谱-质谱联用法

Analysis of Volatile Components in Hawthorn Vinegar by Headspace Solid-Phase Microextraction-Gas Chromatography-Mass Spectrometry (HS-SPME-GC-MS)

HAO Hongmei, ZHANG Shengwan, GUO Caixia*, LI Meiping
(College of Life Science, Shanxi University, Taiyuan 030006, China)

Abstract: The volatile compounds of hawthorn vinegar were extracted by headspace solid-phase microextraction (HS-SPME), identified by gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) and finally quantified by using peak area normalization method. A total of 49 compounds were isolated, 36 of which were structurally identified, accounting for 98.91% of the total volatile substances. These volatile compounds included 11 esters, 6 acids, 11 alcohols, 1 aldehyde, 2 ketones, and 5 other components. The order of volatile compounds that contributed to the flavor of hawthorn vinegar was esters (40.12%), acids (33.63%), alcohols (21.79%), aldehydes (0.05%), ketenes (0.57%), and other components (1.55%). The main flavor components of hawthorn vinegar were acetic acid, ethyl acetate, ethyl alcohol, acetate -3-methyl-1-butanol, benzoic acid-ethyl ester, 3-methyl-1-butanol, hexanoic acid-ethyl ester, hexanoic acid, benzenecarboxylic acid, acetic acid-1-methylpropyl ester, 2-butanol, phenylethyl alcohol, octanoic acid, and 2-methoxy-4-methy-phenol, which were jointly responsible for the unique aroma characteristics of hawthorn vinegar. This study provides a scientific basis and theoretical reference for establishing an evaluation system for aroma characteristics of hawthorn vinegar.

Key words: hawthorn vinegar; volatile compounds; headspace solid-phase microextraction (HS-SPME); gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS)

DOI:10.7506/spkx1002-6630-201602024

中图分类号: TS264.22

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630 (2016) 02-0138-04

引文格式:

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.

DOI:10.7506/spkx1002-6630-201602024. <http://www.spkx.net.cn>

HAO Hongmei, ZHANG Shengwan, GUO Caixia, et al. Analysis of volatile components in hawthorn vinegar by headspace solid-phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry (HS-SPME-GC-MS)[J]. Food Science, 2016, 37(2): 138-141. (in Chinese with English abstract) DOI:10.7506/spkx1002-6630-201602024. <http://www.spkx.net.cn>

收稿日期: 2015-04-20

基金项目: 山西大学引进人才建设项目 (011351801001)

作者简介: 郝红梅 (1990—), 女, 硕士研究生, 研究方向为食品安全与生物技术。E-mail: 18735129584@163.com

*通信作者: 郭彩霞 (1984—), 女, 讲师, 博士, 研究方向为食品安全与生物技术、食品化学与分析。E-mail: guocx@sxu.edu.cn

山楂, 俗称红果、山里红, 富含VC、果胶、氨基酸、黄酮类物质和多种有机酸^[1]。山楂不仅酸甜可口, 老少皆宜, 且它的营养价值非常高, 自古就被称作“果子药”, 具有开胃、健脑、养颜、补肾、降血脂等功效。目前山楂的加工产品主要有山楂片、山楂糕、山楂果脯、山楂汁、山楂酒、山楂果醋等^[2], 其中山楂果醋通过发酵加工不仅保持了山楂原有的果香气味和营养价值, 而且具有食醋的保健功能, 得到广大消费者的青睐。

山楂果醋易挥发成分不仅是评价山楂果醋品质的重要指标, 也是山楂果醋风味物质的重要组成部分。目前, 对于易挥发成分定性、定量分析主要采用诸如液液萃取法^[3-4]、蒸馏萃取法^[5-6]、固相微萃取法^[7-8]等不同的萃取方法对挥发性的香气成分进行提取富集, 并结合气相色谱-质谱(gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS)联用分析技术进行分析测定。固相微萃取技术由于其操作简单, 灵敏度高, 无二次污染, 集萃取、浓缩、解析于一体等优点被广泛应用于易挥发性成分的分析中^[9-10], 其中顶空固相微萃取(head space solid-phase micro-extractions, HS-SPME)法适用于提取含有一定挥发性成分的待测组分, 特别是含有高分子质量干扰物的样品^[11]。目前, 该技术已广泛应用于白酒^[12-14]、果酒^[15-16]、果醋^[17-19]等产品易挥发成分的分析, 然而迄今为止关于山楂果醋的研究多集中在酿造工艺及饮料研制上^[20-23], 对于山楂其他产品的易挥发成分测定有山楂汁及山楂红酒。研究发现, 山楂汁的主要易挥发成分有: 顺-3-己烯醇、 α -萜品醇、顺-乙酸-3-己烯酯、顺-丁酸-3-己烯酯、苯甲醇、甲酸己酯等^[24]; 山楂红酒的主要香气成分有: 丁二酸乙酯、苯乙醇、丁二酸二乙酯、甲氧基乙酸己酯、酒石酸二乙酯、2,3-丁二醇、乳酸乙酯等^[25]; 但是关于山楂果醋易挥发成分的研究还鲜见有报道。本实验采用HS-SPME-GC-MS法对山楂果醋易挥发成分进行了分离及结构鉴定, 以期对山楂果醋的香气特征研究提供科学依据, 为山楂果醋品质感官评价体系的建立和山楂果醋产业发展提供参考。

1 材料与amp;方法

1.1 材料与试剂

山楂产地为山西省运城市绛县。

山楂果醋由山西省运城市某山楂生产企业提供, 总酸(以乙酸计)为3.68 g/100 mL; 不挥发物(以乳酸计): 0.56 g/100 mL; 可溶性无盐固形物: 1.00 (+) g/100 mL。

1.2 仪器与设备

50/30 μ m聚二乙烯苯/碳分子筛/聚二甲甲基硅氧烷(divinylbenzene/carboxen/polydimethylsiloxane, DVB/

CAR/PDMS) SPME萃取头及萃取手柄 美国Supelco公司; 6890A-5975C GC-MS联用仪 美国Agilent公司; DF-101S集热式恒温加热磁力搅拌器 郑州长城科工贸有限公司。

1.3 方法

1.3.1 山楂醋的制备

以山楂为原料, 通过选料、清洗、榨浆、预煮得到山楂液, 选用新缸或浸泡过醋的缸进行发酵。第1次发酵, 将预煮好的山楂液倒入选好的缸中, 将山楂液糖度调整为15° Brix、加山楂液质量1/1 000干酵母和1%的食盐, 在20~25 °C条件下进行密闭发酵, 7 d后取出缸中的上清液备用。第2次发酵, 在留下的渣中再加糖液调整糖度为15° Brix, 再加入山楂液质量0.5/1 000干酵母和1%的食盐, 进行二次密闭发酵, 7 d后取出缸中的上清液备用。第3次发酵, 合并2次上清液, 装缸、密封, 在30 °C条件下, 发酵90 d, 即得到山楂醋成品。

1.3.2 挥发性成分风味物质的提取

采样前先将萃取头插入GC-MS的进样口中, 于250 °C老化并进行空白实验, 直至无色谱峰出现。准确移取8.0 mL山楂醋样置于20 mL顶空瓶中, 再按0.20 g/mL的质量浓度加入NaCl, 然后用带有硅橡胶隔垫的瓶盖密封, 放入集热式恒温加热磁力搅拌器中, 在40 °C条件下搅拌平衡30 min, 然后将50/30 μ m DVB/CAR/PDMS萃取头插入顶空瓶中距离液面1 cm处, 在40 °C条件下萃取30 min。

1.3.3 GC-MS联用分析条件

GC条件: RTX-WAX弹性石英毛细柱(30 m \times 0.25 mm, 0.25 μ m); 进样口温度250 °C; 载气为He; 流速1.0 mL/min; 不分流进样。程序升温: 40 °C保持10 min, 以5 °C/min升至140 °C, 保持5 min, 然后以10 °C/min升至230 °C, 保持15 min。

MS条件: 电子电离源; 电子电离能量70 eV; 离子源温度230 °C; 四极杆温度150 °C; 质量扫描范围为m/z 25~500; 质谱谱库为NIST 05 a.L。

1.3.4 定性与定量分析

按照1.3.3节GC-MS联用条件, 将HS-SPME后的萃取头插入进样口, 在GC进样口250 °C条件下解吸5 min, 随后进行色谱扫描, 通过质谱解析以及与NIST 05 a.L谱库进行比对, 确定各易挥发成分的结构, 并采用峰面积归一化法计算各组分的相对含量。

2 结果与分析

应用HS-SPME-GC-MS技术对山楂果醋的易挥发成分进行分析, 结果见图1。通过MS解析以及与NIST 05 a.L谱库进行比对, 鉴定得到各个组分, 并经面积归一化法计算各成分的相对含量, 具体分析结果见表1。

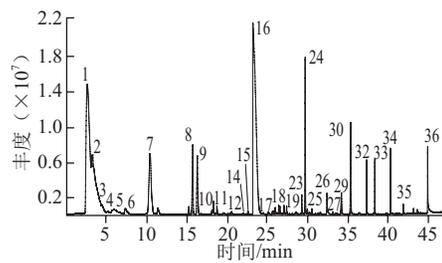


图1 山楂果醋易挥发成分GC-MS的总离子色谱图

Fig.1 Total ion current chromatogram of the volatile composition of hawthorn vinegar

表1 山楂果醋挥发成分HS-SPME-GC-MS分析结果

Table 1 HS-SPME-GC-MS analytical results of the volatile composition of hawthorn vinegar

化合物种类	序号	保留时间/min	化合物名称	分子式	匹配度	相对含量/%
酸类 (6种)	1	23.179	乙酸	C ₂ H ₄ O ₂	91	27.93
	2	28.601	丁酸	C ₄ H ₈ O ₂	81	0.03
	3	35.318	己酸	C ₆ H ₁₂ O ₂	90	2.82
	4	40.264	辛酸	C ₈ H ₁₆ O ₂	90	1.07
	5	43.128	癸酸	C ₁₀ H ₂₀ O ₂	98	0.08
	6	44.874	苯甲酸	C ₇ H ₆ O ₂	95	1.70
酯类 (11种)	1	2.599	乙酸乙酯	C ₄ H ₈ O ₂	86	23.04
	2	4.397	乙酸-1-甲基丙酯	C ₅ H ₁₀ O ₂	64	1.65
	3	7.334	3-甲基丁酸乙酯	C ₇ H ₁₄ O ₂	91	0.68
	4	10.404	乙酸-3-甲基丁酯	C ₇ H ₁₄ O ₂	90	7.20
	5	16.265	己酸乙酯	C ₈ H ₁₆ O ₂	96	2.92
	6	20.431	乙酸环己酯	C ₈ H ₁₆ O ₂	86	0.05
	7	20.521	2-羟基丙酸乙酯	C ₅ H ₁₀ O ₃	72	0.09
	8	27.040	2-甲基丙酯	C ₅ H ₁₀ O ₂	91	0.24
	9	29.658	苯甲酸乙酯	C ₉ H ₁₀ O ₂	86	4.07
	10	29.946	丁二酸二乙酯	C ₁₀ H ₁₈ O ₄	90	0.11
	11	33.094	苯乙酸乙酯	C ₁₀ H ₁₂ O ₂	90	0.07
醇类 (11种)	1	3.271	乙醇	C ₂ H ₆ O	78	14.87
	2	5.907	2-丁醇	C ₄ H ₁₀ O	78	1.47
	3	15.702	3-甲基丁醇	C ₅ H ₁₂ O	83	3.25
	4	22.563	环己醇	C ₆ H ₁₂ O	97	0.07
	5	25.101	2-乙基己醇	C ₈ H ₁₈ O	72	0.03
	6	25.947	2-壬醇	C ₉ H ₂₀ O	46	0.20
	7	26.379	2,3-丁二醇	C ₄ H ₁₀ O ₂	90	0.34
	8	26.519	2,6-二甲基-4-庚醇	C ₉ H ₂₀ O	72	0.18
	9	30.486	松油醇	C ₁₀ H ₁₈ O	96	0.11
	10	36.317	苯甲醇	C ₇ H ₈ O	96	0.03
	11	37.298	苯乙醇	C ₈ H ₁₀ O	94	1.24
醛类 (1种)	1	22.007	壬醛	C ₉ H ₁₈ O	96	0.05
酮类 (2种)	1	18.096	环己酮	C ₆ H ₁₀ O	94	0.18
	2	18.277	3-羟基-2-丁酮	C ₄ H ₈ O ₂	86	0.39
其他 (5种)	1	32.369	苯甲脒	C ₇ H ₉ NO ₂	91	0.75
	2	33.601	环癸烯	C ₁₀ H ₁₈	90	0.04
	3	34.167	2-戊酮基苯	C ₁₁ H ₁₄ O	78	0.76
	4	38.307	2-甲氧基-4-甲基苯酚	C ₉ H ₁₀ O ₂	97	1.04
	5	41.850	2-甲氧基-4-乙基苯酚	C ₁₀ H ₁₂ O ₂	98	0.17

HS-SPME-GC-MS方法分析山楂果醋易挥发性香气成分得到的GC-MS的总离子色谱图包含49个吸收峰,

其中包含有一些匹配度较小并且含量微量的成分,结合NIST 05 a.L谱库及相关文献进行比对最终共鉴定出36种化合物,采用峰面积归一化法可知鉴定出的化合物占总易挥发成分总量的98.92%,对山楂果醋易挥发性成分贡献较大的依次是:酯类化合物11种,占40.12%;酸类化合物6种,占33.63%;醇类化合物11种,占21.79%。此外,醛类化合物1种,占0.05%;酮类化合物2种,占0.57%;其他类5种,占1.55%。

酸味是果醋的主要呈香和呈味物质,是直接影响果醋风味和品质的一类化合物。山楂果醋中共检测到酸类化合物6种,从表1可以看出,乙酸是山楂果醋所有挥发性成分中含量最高的一种化合物,相对含量为27.93%,具有强烈的醋香味,是山楂果醋的主要酸味物质;除山楂醋主要的呈香、呈味物质乙酸外,其他检出的酸类化合物相对含量较小,依次为己酸(2.82%)、苯甲酸(1.70%)、辛酸(1.07%)、癸酸(0.08%)、丁酸(0.03%),其中己酸具有干酪味、少许酸臭味;辛酸具有奶酪味、少许的涩味,而癸酸则带有令人不愉快的脂肪味^[16]。低浓度的酸会赋予果醋清淡的、令人愉快的香味,但浓度过高时会对果醋香气品质产生消极的影响。

酯类在果醋的香气贡献中起着重要的作用,赋予果醋果香和花香的感官特性,是评价果醋品质的一个主要指标。山楂果醋共鉴定出11种酯类化合物,是所有鉴别出的化合物中含量最多的一种,其中相对含量最多酯类化合物是乙酸乙酯,占总成分的23.04%,乙酸乙酯具有很强的酯香和果香^[26],对山楂果醋的特征香气具有较大的贡献;相对含量仅次于乙酸乙酯的酯类化合物是乙酸-3-甲基丁酯,相对含量为7.20%,赋予果香、香蕉味、甜香;因此,乙酸乙酯和乙酸-3-甲基丁酯是山楂果醋极为重要的2种酯类物质。另外,还检测出:苯甲酸乙酯(4.07%),具有芳香气味;己酸乙酯(2.92%),具有青苹果味、草莓香味、果香和茴香味;乙酸-1-甲基丙酯(1.65%),具有水果香味;苯乙酸乙酯(0.07%),具有甜蜜的玫瑰花香。其中乙酸乙酯、3-甲基丁酸乙酯、己酸乙酯作为山楂汁的主要香气成分在醋酸发酵后有保留^[24],但是分析未发现山楂汁中的其他酯类物质,可能与山楂的种类及发酵有关。这些酯类共同作用、相互影响对山楂果醋香气特征的构成起着一定贡献。

检测到的醇类化合物共11种,分别是:乙醇、2-丁醇、3-甲基丁醇、环己醇、2-乙基己醇、2,3-丁二醇、2,6-二甲基-4-庚醇、2-甲基丙醇、松油醇、苯甲醇、苯乙醇。其中乙醇相对含量最高为14.87%,其次是3-甲基丁醇,相对含量为3.25%。乙醇和3-甲基丁醇是山楂果醋经酒精发酵产生的主要醇类化合物,作为醋酸发酵过程中的底物,发酵结束后有一定的残留。此外,苯甲醇具有花香味;苯乙醇的香味较为独特,具有玫瑰香、紫罗兰

香、茉莉花香等多种愉快的花香和果香等^[27]。其中松油醇存在于山楂汁中^[24]，乙醇、苯甲醇、苯乙醇、2,3-丁二醇同时也存在于山楂红酒香气成分中^[25]，是山楂果醋酒精发酵的产物。山楂果醋中的其他类醇类物质均未在山楂汁、山楂红酒中检出，这与果醋特殊的发酵工艺密切相关。这些醇类物质对于山楂果醋的香气特征具有一定的影响。

除酸类、酯类、醇类这些主要化合物外，山楂果醋中还含有一些酚类、醛类、酮类物质，如3-羟基-2-丁酮具有奶油香、甜香；壬醛具有玫瑰花香^[28]，但是这些物质相对含量较低，对于山楂果醋香气特征相对影响不大。

山楂果醋与其他类型的果醋相比，例如苹果果醋、荔枝果醋、桑葚果醋、黑加仑果醋、沙棘果醋等，相同的易挥发成分很少，这与果醋的种类、发酵工艺有关，因此山楂果醋的风味与其他果醋相差较大。山楂果醋与山西老陈醋^[29]相比，相同的易挥发成分有乙酸、己酸、丁酸、苯甲酸、3-羟基-2-丁酮、2,3-丁二醇。山楂果醋与镇江香醋^[30]相比，相同的易挥发成分有乙酸、己酸、乙酸-3-甲基丁酯、丁二酸二乙酯、苯乙酸乙酯、乙醇、2,3-丁二醇、苯乙醇、3-羟基-2-丁酮、2-甲氧基-4-甲基苯酚。由此可见山楂果醋中的酸味物质与山西老陈醋类似，但是酯类、醇类主要呈香类物质与镇江香醋相似，这与山楂果醋的原料、发酵工艺、检测方法都有关，需要有待采用相同的分析方法进行详细的比较。

3 结论

本实验采用HS-SPME-GC-MS对山楂果醋易挥发性成分进行提取分析，共检测出49种易挥发性成分，鉴定出36种化合物，包括酸类、酯类、醇类、醛类、酮类、酚类及少量其他化合物，它们是挥发性物质的主体，共同构成了山楂果醋的香气。其中酸类化合物、酯类化合物、醇类化合物相对含量较高，初步确定乙酸、乙酸乙酯、乙醇、乙酸-3-甲基丁酯、苯甲酸乙酯、3-甲基丁醇、己酸乙酯、己酸、乙酸-2-甲基丙酯及2-丁醇是山楂果醋的主要香气成分。该研究为山楂果醋实际生产中产品风味的分析提供了重要的数据信息和理论依据。

参考文献:

[1] 周晓理, 陈树俊. 纯天然山楂果珍粉及山楂原粉的研究[J]. 食品工程, 1998(2): 11-14.
[2] 高薇薇. 山楂提取物的稳定性及其微胶囊化研究[D]. 天津: 天津科技大学, 2010.
[3] 杨春霞, 廖永红, 胡建华, 等. 液液萃取与固相微萃取二锅头香气成分的比较[J]. 食品工业科技, 2012, 33(8): 68-74.
[4] 范文来, 徐岩. 应用液液萃取结合正相色谱技术鉴定汾酒与郎酒挥发性成分: 上[J]. 酿酒科技, 2013, 33(2): 17-26. DOI:10.3969/j.issn.10019286.2013.02.001.

[5] 袁仲, 马绮云, 杨继远. 液液萃取和同时蒸馏萃取与气质联用分析国产食醋香味成分[J]. 食品科学, 2010, 31(4): 226-229.
[6] SELLI S, CAYHAN G G. Analysis of volatile compounds of wild gilthead sea bream (*Sparus aurata*) by simultaneous distillation-extraction (SDE) and GC-MS[J]. Micro Chemical Journal, 2009, 93(2): 232-235. DOI:10.1016/j.micor.2009.07.010.
[7] 胡玉霞, 王方, 王昭君, 等. 顶空固相微萃取与气质联用分析山核桃香气成分[J]. 农业机械, 2011, 38(10): 135-138.
[8] 韩素芳, 丁明, 刘亚群, 等. 顶空固相微萃取-气相色谱-质谱测定百香果香气条件的优化[J]. 中国食品学报, 2010, 10(4): 278-284. DOI:10.3969/j.issn.1009-7848.2010.04.042.
[9] 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.
[10] 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.
[11] 胡国栋. 固相微萃取技术的进展及其在食品分析中应用的现状[J]. 色谱, 2009, 27(1): 1-8. DOI:10.3321/j.issn:1000-8713.2009.01.001.
[12] 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.
[13] 范文来, 胡光源, 徐岩. 顶空固相微萃取-气相色谱-质谱法测定药香型白酒中萜烯类化合物[J]. 食品科学, 2012, 33(14): 110-116.
[14] ELISABETE P B, MOREIRA N, PEREIRA G E, et al. Development and validation of HS-SPME with a gas chromatography-ion/mass spectrometry method for analysis of volatiles in wines[J]. Talanta, 2012, 101(54): 177-186. DOI:10.1016/j.talanta.2012.08.028.
[15] 盖禹含, 辛秀兰, 杨国伟, 等. 不同酵母发酵的蓝莓酒香气成分GC-MS分析[J]. 食品科学, 2010, 31(4): 171-174.
[16] 屈文军. 荔枝酒香气成分分析[D]. 北京: 中国农业大学, 2007.
[17] 张霁红, 张永茂, 曾朝珍, 等. 发酵苹果醋挥发性成分的GC/MS分析[J]. 酿酒科技, 2013(5): 94-96. DOI:10.3969/j.issn.1001-9286.2013.05.026.
[18] 李巍青, 王浩, 蒋丽婷, 等. 顶空固相微萃取气质联用测定荔枝果醋中挥发性成分[J]. 中国酿造, 2011, 29(12): 160-162. DOI:10.3969/j.issn.0254-5071.2011.12.045.
[19] 梁贵秋, 李全, 吴婧婧, 等. 顶空固相微萃取与气相色谱/质谱联用分析桑椹果醋挥发性成分[J]. 蚕业科学, 2012, 38(6): 1137-1141.
[20] 徐晶, 邓勇. 山楂果醋发酵工艺的试验研究[J]. 中国农业大学学报, 2002, 7(2): 81-84. DOI:10.3321/j.issn:1007-4333.2002.02.017.
[21] 王翔, 张光杰, 赵文珍, 等. 发酵型山楂果醋工艺研究[J]. 中国调味品, 2012, 37(5): 85-87. DOI:10.3969/j.issn.1000-9973.2012.05.023.
[22] 王月慧. 山楂果醋饮料的研制[J]. 山西食品工业, 2005(2): 15-17. DOI:10.3969/j.issn.1673-6044.2005.02.005.
[23] 童应凯, 董艳, 王莹, 等. 山楂果醋工艺技术的研究[J]. 食品研究与开发, 1999, 20(2): 18-19.
[24] 田甜甜, 王积武, 吴志莲, 等. 不同萃取方法对山楂汁香气成分测定的影响[J]. 食品工业科技, 2014, 35(18): 153-156. DOI:10.3969/j.issn.1002-0306.2014.18.024.
[25] 高哲, 潘玉雷, 王贞强, 等. 山楂红酒香气成分的GC/MS分析[J]. 酿酒科技, 2013(8): 95-97. DOI:10.3969/j.issn.1001-9286.2013.08.028.
[26] 李华, 王华, 袁春龙. 葡萄酒品尝学[M]. 北京: 科学出版社, 2007: 121-122.
[27] 刘树文. 合成香料技术手册[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2000: 89-90.
[28] 苗爱清, 吕海鹏, 孙世利, 等. 乌龙茶香气的HS-SPME-GC/MS-O研究[J]. 茶叶科学, 2010, 30(增刊1): 583-587.
[29] 张宗保, 赵杰文, 邹小波, 等. HS-SPME/GC-MS/GC-O对镇江香醋特征香气成分的确定[J]. 江南大学学报, 2010, 31(2): 139-144. DOI:10.3969/j.issn.1671-7775.2010.02.004.
[30] 苗志伟, 刘玉平, 黄明泉, 等. HS-SPME和GC-MS联用分析山西老陈醋中挥发性香味成分[J]. 中国食品学报, 2011, 11(8): 197-202. DOI:10.3969/j.issn.1009-7848.2011.08.031.