

HS-SPME 与 GC-MS 联用分析不同季节艾纳香叶香气成分

王远辉¹, 王洪新^{1,2,*}, 田洪芸¹, 马朝阳¹, 陈涛¹, 邹纯礼³, 王兴³

(1. 江南大学食品学院, 江苏 无锡 214122; 2. 江南大学食品科学与技术国家重点实验室, 江苏 无锡 214122; 3. 贵州艾源生态药业开发有限公司, 贵州 罗甸 550100)

摘要: 采用顶空固相微萃取法和气质联用技术分别对秋季和冬季艾纳香叶香气成分进行分析。结果表明: 秋季样品香气成分为 49 种(91.37%), 其中萜类化合物为 43 种(81%); 冬季样品香气成分为 47 种(95.87%), 其中萜类化合物为 37 种(88.48%)。秋季样品相对含量前 5 位的依次为(*E*)-石竹烯(24.88%), *L*-龙脑(17.86%), (+)- γ -古芸烯(12.27%), 花椒素(7.83%), (*E*)-罗勒烯(3.6%)。冬季样品相对含量前五位的依次为 *L*-龙脑(47.3%), 樟脑(13.64%), (*E*)-石竹烯(7.41%), (+)- γ -古芸烯(3.9%), β -石竹烯环氧化物(2.75%)。两种样品相同的香气成分有 31 种, 因此两样品的主体香气相似, 即樟脑香、胡椒香和药香, 但两样品中相同组分相对含量差异很大。此外秋季样品还含有 18 种独有组分, 冬季样品含有 16 种, 因此不同季节生产的艾纳香精油香气不同, 各有特色。

关键词: 固相微萃取; 气质联用; 艾纳香叶; 香气成分

Headspace Solid-Phase Microextraction Coupled with GC-MS for Analysis of Aromatic Components in Leaves of *Blumea balsamifera* (L.) DC. in Different Seasons

WANG Yuan-hui¹, WANG Hong-xin^{1,2,*}, TIAN Hong-yun¹, MA Chao-yang¹, CHEN Tao¹, ZOU Chun-li³, WANG Xing³

(1. School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, China;
2. State Key Laboratory of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, China;
3. Gui Zhou Ai Yuan Eco-Pharmaceutical Development Co. Ltd., Luodian 550100, China)

Abstract: The aroma components in leaves of *Blumea balsamifera* (L.) DC. harvested in fall and winter were extracted by headspace solid-phase micro-extraction (HS-SPME) and analyzed by gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS). The results showed that 49 aroma components were found in fall leaves (91.37%), including 43 terpenoids (81%); 47 aroma components were found in winter leaves, including 37 terpenoids (88.48%). The top five components were (*E*)-caryophyllene (24.88%), l-borneol (17.86%), (+)- γ -gurjunene (12.27%), xanthoxylin (7.83%) and (*E*)-ocimene (3.6%) in fall samples, and l-borneol (47.3%), camphor (13.64%), (*E*)-caryophyllene (7.41%), (+)- γ -gurjunene (3.9%) and β -caryophyllene epoxide (2.75%) in winter samples. Fall and winter samples contained 31 aroma components in common and therefore had similar aroma characteristics, namely camphor, pepper and herbal aroma. However, a significant difference in the relative contents of the aroma components common to samples harvested in both seasons was found. Eighteen and 16 components were exclusive to winter and fall samples, respectively. In conclusion, the volatile oil components in *Blumea balsamifera* (L.) DC. vary seasonally.

Key words: solid-phase micro-extraction; GC-MS; *Blumea balsamifera* (L.) DC. leaf; aroma components

中图分类号: O657.63

文献标识码: A

文章编号: 1002-6630(2012)14-0166-05

收稿日期: 2011-06-28

基金项目: 科技型中小企业技术创新基金项目(11C26215205838);

贵州省科技型中小企业技术创新基金项目(黔科合字[2011]5002号)

作者简介: 王远辉(1983—), 男, 博士研究生, 研究方向为食品功能因子。E-mail: wyh831119@163.com

* 通信作者: 王洪新(1964—), 男, 教授, 博士, 研究方向为食品功能因子。E-mail: cnwhx1964@163.com

艾纳香(*Blumea balsamifera* (L.) DC.)为菊科艾纳香属(*Compositae*)植物,其叶具有浓郁的香气,可通过蒸馏法从中提取艾片(左旋龙脑)和艾纳香精油。据《中国药典》载:艾片具有多种功效,且艾纳香叶是其唯一天然来源;艾纳香精油具有独特香气和抗菌作用,在食品、医疗美容和香精香料行业备受关注。艾纳香叶的采收集中在每年的11月上旬至次年3月中旬,但不同季节所产精油的香气存在差异,这是由于不同季节艾纳香叶的挥发性成分不同,因此有必要对艾纳香叶的香气成分进行分析。顶空固相微萃取(headspace solid-phase micro-extraction, HS-SPME)是一种集采样、萃取、浓缩、进样于一体的无溶剂样品预处理技术,具有处理时间短、不使用有机溶剂、真实反映样品中挥发性成分及组成等优点^[1],正适用于艾纳香叶挥发性成分分析。郝小燕^[2]、周欣^[3]、杜萍^[4]、Bhuiyan^[5]等已研究艾纳香挥发油的化学组成,目前还未见黔产艾纳香叶香气成分分析的相关研究成果,本实验采用顶空固相微萃取和气质联用(gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS)技术分析秋季(11月)和冬季(2月)艾纳香叶的香气成分,为合理选择艾纳香叶的采收季节提供参考。

1 材料与方 法

1.1 材料与仪器

艾纳香叶(秋季样品采摘时间为2010年11月,冬季样品采摘时间为2011年2月,产地贵州省罗甸县) 贵州艾源生态药业开发有限公司。

1200L GC/MS-M气相色谱质谱联用仪 美国Varian公司; DB-5 弹性石英毛细管柱(30m × 0.25mm, 0.25 μm) 美国Agilent公司; 固相微萃取装置、75 μm CAR/PDMS 萃取头 美国Supelco公司。

1.2 方法

1.2.1 样品制备

分别称取密封保存的不同季节采收的艾纳香叶各5g于样品瓶中,用聚四氟乙烯隔垫密封,使用CAR/PDMS萃取头进行萃取,环境温度45℃条件下顶空吸附30min。

1.2.2 仪器条件

1.2.2.1 色谱条件

升温程序:初温40℃保持3min,然后以8℃/min升至280℃,保持10min;进样口温度250℃;载气(He)流速1.0mL/min。萃取头在进样口于250℃解吸3min。

1.2.2.2 质谱条件

电子电离(electron ionization, EI)源、离子源温度200℃、电子能量70eV、发射电流34.6 μA、检测器电压1000V、接口温度280℃、扫描质量范围35~500u。

1.2.3 数据处理

采集到的质谱图同时与NIST和Wiley标准谱库对照,对组分定性,仅报道正反匹配度均大于800(最大值1000)的鉴定结果。用峰面积归一法计算各化学成分的相对含量。

2 结果与分析

2.1 秋季与冬季艾纳香叶的挥发性香气组成

采用HS-SPME和GC-MS联用技术对两艾纳香叶样品进行分析,共分离出83种化合物,初步定性的有65种,其中有50种属于萜类化合物,萜烯种类最多,共32种,其他依次为萜醇14种、萜酯3种、萜酮2种、萜醛1种。秋季和冬季两种艾纳香叶的GC-MS总离子图见图1。通过谱库检索和分析,检出两种艾纳香叶的香气成分见表1。

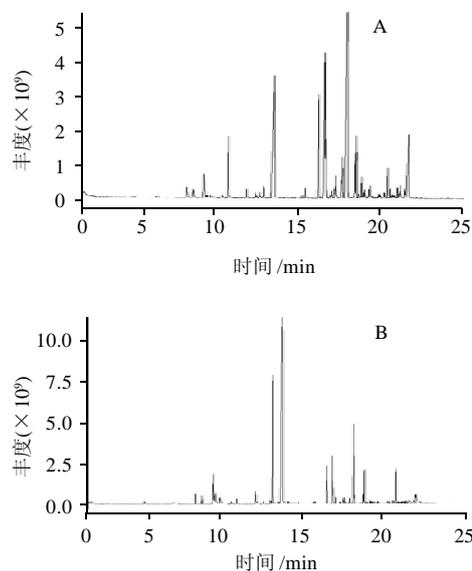


图1 秋季(A)和冬季(B)艾纳香叶香气成分的GC-MS总离子图
Fig.1 GC-MS total ion chromatogram of aroma components in leaves of *Blumea balsamifera* (L.) DC. harvested in autumn (A) and winter (B)

秋季样品初步定性化合物共有49种,占色谱流出组分总量的91.37%,其中萜类化合物43种,相对含量为81%。全部组分中包括:29种烯类(58.95%),其中28种萜烯(58.85%);14种醇类(21.38%),其中萜醇13种(21.24%);4种酮类(8.64%),其中萜酮1种(0.56%);1种醚类(2.04%);1种酯类(0.36%),属萜酯。相对含量排在前5位的为(E)-石竹烯(24.88%)、L-龙脑(17.86%)、(+)- γ -古芸烯(12.27%)、花椒素(7.83%)、(E)-罗勒烯(3.6%)。

冬季样品共有47种被初步定性,占色谱流出组分总量的95.87%,其中萜类化合物37种,相对含量为88.48%。全部组分中包括21种烯类(24.2%),全为萜烯;12种醇

表1 两种艾纳香叶挥发性成分组成
Table 1 Aroma components in leaves of leaves of *Blumea balsamifera* (L.) DC. harvested in autumn and winter

序号	保留时间/min	化合物名称	分子式	相对含量/%	
				秋季	冬季
醇类					
1	9.702	1-辛烯-3-醇 1-octen-3-ol	C ₈ H ₁₆ O	—	2.65
2	10.087	3-辛醇 3-octanol	C ₈ H ₁₈ O	0.14	0.75
3	12.241	芳樟醇 linalool	C ₁₀ H ₁₈ O	0.45	1.1
4	13.866	L-龙脑 1-borneol	C ₁₀ H ₁₈ O	17.86	47.3
5	14.196	$\alpha, \alpha, 4$ -三甲基-3-环己烯-1-甲醇 $\alpha, \alpha, 4$ -trimethylcyclohex-3-ene-1-methanol	C ₁₀ H ₁₈ O	—	0.1
6	19.854	榄香醇 elemol	C ₁₅ H ₂₆ O	0.06	—
7	20.248	(+)-橙花叔醇 (+)-nerolidol	C ₁₅ H ₂₆ O	0.1	—
8	20.514	1,1,4,7-四甲基十氢-4aH-环丙烷[e]萹-4a-醇 1,1,4,7-tetramethyldecahydro-4aH-cyclopropa[e]azulen-4a-ol	C ₁₅ H ₂₆ O	0.24	0.3
9	20.853	(-)-愈创木醇 (-)-guaiol	C ₁₅ H ₂₆ O	0.4	0.16
10	21.03	杜香醇 ledum camphor	C ₁₅ H ₂₆ O	0.17	0.16
11	21.141	八氢四甲基萘甲醇 rosifoliol	C ₁₅ H ₂₆ O	0.09	—
12	21.289	10-表位- γ -桉叶醇 10-epi- γ -eudesmol	C ₁₅ H ₂₆ O	0.4	0.2
13	21.388	γ -桉叶醇 γ -eudesmol	C ₁₅ H ₂₆ O	0.15	—
14	21.494	4,4-二甲基-四环[6.3.2.0(2,5).0(1,8)]十三碳-9-醇 4-dimethyl-tetracyclo[6.3.2.0(2,5).0(1,8)]tridecan-9-ol	C ₁₅ H ₂₄ O	0.48	0.52
15	21.753	β -桉叶醇 β -eudesmol	C ₁₅ H ₂₆ O	0.55	0.27
16	21.801	绿花白千层醇 viridiflorol	C ₁₅ H ₂₆ O	0.28	0.15
醛酮类					
17	2.319	2-丁酮 2-butanone	C ₄ H ₈ O	—	0.1
18	9.803	3-辛酮 3-octanone	C ₈ H ₁₆ O	0.1	0.7
19	9.648	6-甲基庚烷-3-酮 6-methylheptan-3-one	C ₈ H ₁₆ O	0.16	—
20	12.719	菊油环酮 chrysanthenone	C ₁₀ H ₁₄ O	—	0.11
21	13.291	樟脑 camphor	C ₁₀ H ₁₆ O	0.56	13.64
22	21.222	2,3,5,9-四甲基-三环[6.3.0.0(1,5)]十一碳-2-烯-4-酮 2,3,5,9-tetramethyl-tricyclo[6.3.0.0(1,5)]undec-2-en-4-one	C ₁₅ H ₂₂ O	—	0.18
23	21.881	花椒素 xanthoxylol	C ₁₀ H ₁₂ O ₄	7.83	2.03
24	5.554	己醛 hexanal	C ₆ H ₁₂ O	—	0.26
25	13.002	2,4,6-三甲基-3-环己烯-1-甲醛 2,4,6-trimethylcyclohex-3-enecarbaldehyde	C ₁₀ H ₁₆ O	—	0.04
醚类					
26	18.004	百里氢醌二甲醚 thymohydroquinone dimethyl ether	C ₁₂ H ₁₈ O ₂	2.04	—
酯类					
27	14.79	甲酸龙脑酯 bornyl formate	C ₁₁ H ₁₈ O ₂	—	0.06
28	15.769	乙酸龙脑酯 bornyl acetate	C ₁₂ H ₂₀ O ₂	0.36	0.11
29	20.938	苯甲酸芳樟酯 linalyl anthranilate	C ₁₇ H ₂₃ NO ₂	—	0.06
烯类					
30	8.62	α -蒎烯 α -pinene	C ₁₀ H ₁₆	0.93	0.71
31	9.009	蒎烯 camphene	C ₁₀ H ₁₆	0.73	0.57
32	9.664	β -蒎烯 β -pinene	C ₁₀ H ₁₆	2.6	1.4
33	10.769	(-)-柠檬烯 (-)-limonene	C ₁₀ H ₁₆	0.17	0.15
34	10.886	(Z)- β -罗勒烯 (Z)- β -ocimene	C ₁₀ H ₁₆	0.07	0.07
35	11.111	(E)-罗勒烯 (E)-ocimene	C ₁₀ H ₁₆	3.6	0.34
36	12.541	1,2,3,4,5-五甲基环戊二烯 1,2,3,4,5-pentamethylcyclopentadiene	C ₁₀ H ₁₆	0.19	—
37	12.594	(E, E)-2,6-二甲基-1,3,5,7-八碳四烯 (E, E)-2,6-dimethyl-1,3,5,7-octatetraene	C ₁₀ H ₁₄	0.10	—
38	12.79	罗勒烯 ocimene	C ₁₀ H ₁₆	0.24	—
39	16.864	(+)- γ -古芸烯(+)- γ -gurjunene	C ₁₅ H ₂₄	12.27	3.9
40	16.913	罗汉柏烯-13 thujopsene-13	C ₁₅ H ₂₄	1.54	1.32
41	17.061	1(10),4-香木兰二烯 1(10),4-aromedenedradiene	C ₁₅ H ₂₂	0.26	0.49
42	17.045	(-)-1,5,9,9-四甲基-三环[6.2.1.0(4,11)]十一碳-5-烯 (-)-1,5,9,9-tetramethyl-tricyclo[6.2.1.0(4,11)]undec-5-ene	C ₁₅ H ₂₄	0.12	—
43	17.281	6S-2,3,8,8-四甲基-三环[5.2.2.0(1,6)]十一碳-2-烯 6S-2,3,8,8-tetramethyl-tricyclo[5.2.2.0(1,6)]undec-2-ene	C ₁₅ H ₂₄	0.37	—

序号	保留时间/min	化合物名称	分子式	相对含量/%	
				秋季	冬季
44	17.525	石竹烯-(11) caryophyllene-(11)	C ₁₅ H ₂₄	—	0.24
45	17.914	α -古芸烯 α -gurjunene	C ₁₅ H ₂₄	0.97	0.51
46	18.154	(E)-石竹烯(E)-caryophyllene	C ₁₄ H ₂₂	24.88	7.41
47	18.719	α -石竹烯 α -caryophyllene	C ₁₅ H ₂₄	2.35	0.66
48	18.755	别香橙烯 alloaromadendrene	C ₁₅ H ₂₄	3.19	—
49	18.793	香橙烯 aromadendrene	C ₁₅ H ₂₄	0.23	2.63
50	19.145	(-)-异石竹烯(-)-isocaryophyllene	C ₁₅ H ₂₄	—	0.23
51	19.248	α -桉叶烯 α -selinene	C ₁₅ H ₂₄	—	0.20
52	19.374	榄香烯 elemene	C ₁₅ H ₂₄	—	0.25
53	19.587	1,2,3,4,4a,5,6,8a-八氢-7-甲基-4-甲基烯-1-(1-甲基乙基)-萘 1,2,3,4,4a,5,6,8a-octahydro-7-methyl-4-methylene-1-(1-methylethyl)-naphthalene	C ₁₅ H ₂₄	0.22	0.14
54	19.605	(+)-香橙烯(+)-aromadendrene	C ₁₅ H ₂₄	0.77	—
55	19.707	长叶烯(V4) longifolene-(V4)	C ₁₅ H ₂₄	0.24	—
56	19.798	愈创木烯 guaiene	C ₁₅ H ₂₄	0.33	—
57	20.09	(-)- β -榄香烯(-)- β -elemene	C ₁₅ H ₂₄	0.16	—
58	20.197	(-)- γ -杜松烯(-)- γ -cadinene	C ₁₅ H ₂₄	0.33	—
59	20.261	(+)- δ -杜松烯(+)- δ -cadinene	C ₁₅ H ₂₄	0.44	0.12
60	20.431	1-氧-二表雪松烯 diepicedrene-1-oxide	C ₁₅ H ₂₄ O	0.18	—
61	20.701	β -石竹烯环氧化物 β -caryophyllene epoxide	C ₁₅ H ₂₄ O	1.38	2.75
62	21.111	(-)-蛇麻烯环氧化物II(-)-humulene epoxide II	C ₁₅ H ₂₄ O	0.09	0.11
苯环类					
63	10.667	β -百里香素 β -cymene	C ₁₀ H ₁₄	—	0.01
烷烃类					
64	13.143	1-甲基-3-(1-甲基亚乙基)-环戊烷 1-methylene-3-(1-methylethylidene)-cyclopentane	C ₉ H ₁₄	—	0.30
65	17.576	(E)-3,6-二乙基-3,6-二甲基-三环[3.1.0.0(2,4)]己烷 (E)-3,6-diethyl-3,6-dimethyl-tricyclo[3.1.0.0(2,4)]hexane	C ₁₂ H ₂₀	—	0.41

类(53.64%)，其中萜醇 10 种(50.26%)；6 种酮类(16.77%)，其中萜酮 2 种(13.75%)；2 种醛类(0.3%)，萜醛 1 种(0.04%)；3 种酯类(0.23%)，全为萜酯；1 种苯环类(0.01%)；还有 2 种烷烃类(0.71%)。相对含量排在前 5 位的为 L-龙脑(47.3%)、樟脑(13.64%)、(E)-石竹烯(7.41%)、(+)- γ -古芸烯(3.9%)、 β -石竹烯环氧化物(2.75%)。(E)-石竹烯与 β -石竹烯环氧化物具有辛香、木香、柑橘香、樟脑香，温和的丁香香气；L-龙脑与樟脑香气相似，具有类似松木的气息，香气清凉尖刺，微带药香、胡椒香；(+)- γ -古芸烯具有古芸香脂香气；花椒素具有浓郁的花椒香气；(E)-罗勒烯具有草香、花香并伴有橙花油气息^[6-8]。

2.2 两季节艾纳香叶挥发性成分比较

两样品共同含有组分 31 种，秋、冬季样品中相对含量分别为 82.55% 和 90.67%，其中 28 种属于萜类化合物。共有醇类 10 种，相对含量分别为 20.57% 和 50.97%，除了 3-辛醇，其他均属于萜醇；酮类 3 种，相对含量分别为 8.49% 和 16.37%，只有樟脑属萜酮；酯类 1 种，即乙酸龙脑酯，属萜酯，相对含量分别为 0.36% 和 0.11%；烯类 17 种，全是萜烯，相对含量分别为 52.73% 和 23.28%。以上数据表明，不同种类化合物在两样品中相对含量差异极大，冬季样品中醇、酮两类的含量超过秋季样品

一倍以上，而秋季样品中酯、烯两类超过冬季样品一倍以上。从单一组分上看，(-)-愈创木醇、10-表位- γ -桉叶醇、 β -桉叶醇、花椒素、乙酸龙脑酯、(E)-罗勒烯、(+)- γ -古芸烯、(E)-石竹烯、 α -石竹烯、(+)- δ -杜松烯、3-辛醇、芳樟醇、L-龙脑、3-辛酮、樟脑、香橙烯和 β -石竹烯环氧化物在两样品中的相对含量相差 2 倍以上，更有甚者达到 10 倍。其中芳樟醇具有清淡爽快的铃兰香味，3-辛醇具有紫罗兰香气，愈创木醇具有木香香气，桉叶醇具有清凉香气， α -蒎烯和 β -蒎烯具有松木香气，柠檬烯具有橘类香气，茨烯具有樟脑样香气，香橙烯具有香橙香气，3-辛酮具有果香和奶酪香气，乙酸龙脑酯具有清甜带凉的香气^[9-15]。大量共有组分的存在，构成了艾纳香叶的主体香气，但这些共有组分的相对含量的差异也使得秋、冬样品的香气有一定差异。

从两样品的独有组分看，秋季样品独有组分 18 种，相对含量为 8.82%，其中醇类 4 种(0.4%)，酮类 1 种(0.16%)，醚类 1 种(2.04%)，烯类 12 种(6.22%)；冬季样品独有组分 16 种，相对含量为 5.2%，其中醇类 2 种(2.75%)，酮类 3 种(0.69%)，醛类 2 种(0.3%)，酯类 2 种(0.12%)，烯类 4 种(0.92%)，苯环类 1 种(0.01%)，烷烃类 2 种(0.71%)。通过以上数据不难发现醚类物质只在秋季样品中含有，

醛类、苯环类和烷烃类物质只在冬季样品含有, 秋季样品独有的醇类和冬季样品中独有的酯类和烯类都属于萜类化合物, 秋季样品的烯类和冬季样品的醇类在独有组分中占很大比例。其中橙花叔醇具有温和的花香, 榄香醇具有淡而愉快的香气, 2-丁酮具有果香和樟脑香气, 苯甲酸芳樟酯具有柑橘香气^[16-19]。两样品的独有组分种类数量超过 1/3, 但是相对含量并不高, 都不超过总量的 10%。不同物质嗅觉阈值不同, 萜类物质普遍阈值低, 香气值(浓度/阈值)高, 对香气贡献大, 细微的差别就会引起香气的明显差异^[20], 因此独有组分相对含量虽低, 并不能说明对香气影响小, 需要结合嗅觉感官分析深入研究。

综上所述, 艾纳香叶香气成分中主要含有醇类和烯类物质, 其中大部分都是萜类物质, 樟脑香, 花椒香和药香为主体香气, 这与主要组分的香气特征一致。由于共有组分的相对含量差异和独有组分的差异, 秋、冬样品的香气又存在明显不同, 比如秋季样品的花椒素相对含量比冬季样品高很多, 所以花椒香味浓烈很多。虽然大量组分的香气特征已知, 但是仍有未知香气特征的组分, 需要进一步深入研究。

分析发现冬季样品中 *L*-龙脑相对含量达到 47.3%, 秋季样品中只有 17.86%, *L*-龙脑是艾片的主要成分, 由此推断, 冬季样品适合作为提取艾片的原料。但固相微萃取是针对挥发性香气分析, 本实验提取香气的实验条件是否适合 *L*-龙脑的提取并不确定, 而 GC-MS 分析的只是相对含量, 若要最终确定含量最高者, 还需测定其绝对含量, 本实验结果只能作为参考。

3 结 论

利用顶空固相微萃取结合气质联用技术分析不同季节艾纳香叶挥发性成分组成, 初步定性出挥发性成分 65 种, 二者共有组分 31 种, 以醇、烯类物质居多, 且多为萜类物质。秋季样品中相对含量最高的是石竹烯(24.88%), 冬季样品中相对含量最高的是 *L*-龙脑(47.3%)。两样品中主要香气成分一致, 主体香气相似; 而共有组分相对含量的差异和独有组分的存在, 又使两样品香气不同, 这也导致制取的艾纳香精油的组成和香气不同。本实验分析结果为艾纳香叶香气分析奠定了基础, 对艾纳香原料的采收时间、精油生产及开发利用具有指导意义。感官特征由香气物质的种类、数量、单个物质的感觉阈值及其之间的相互作用决定, 因此有待于结合嗅觉感官分析进一步研究证实。

参 考 文 献:

- [1] PANSERI S, SONCIN S, CHIESA L M, et al. A headspace solid-phase microextraction gas-chromatographic mass-spectrometric method (HS-SPME-GC/MS) to quantify hexanal in butter during storage as marker of lipid oxidation[J]. Food Chemistry, 2011, 127(2): 886-889.
- [2] 郝小燕, 余珍, 丁智慧. 黔产艾纳香挥发油化学成分研究[J]. 贵阳医学院学报, 2000(2): 121-122.
- [3] 周欣, 杨小生, 赵超. 艾纳香挥发油化学成分的气相色谱-质谱分析[J]. 分析测试学报, 2001(5): 76-78.
- [4] 杜萍, 张先俊, 孙晓东. 滇产艾纳香叶挥发油化学成分的 GC-MS 分析[J]. 林产化学与工业, 2009(2): 115-118.
- [5] BHUIYAN M N I, CHOWDHURY J U, BEGUM J. Chemical components in volatile oil from *Blumea balsamifera* (L.) DC.[J]. Bangladesh Journal of Botany, 2009, 38(1): 107-109.
- [6] 黄致喜, 王慧辰. 萜类香料化学[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 1999: 273-286.
- [7] 纪莹, 钱海峰, 周惠明. 固相微萃取与气-质联用分析菊花曲奇饼干的香气成分[J]. 食品与生物技术学报, 2005(3): 87-93.
- [8] 康文怀, 徐岩, 范文来, 等. 基于 HS-SPME 和 GC/MS 定量分析杨梅特征香气成分[J]. 食品工业科技, 2009(12): 380-384.
- [9] LU Zhenming, TAO Weiyi, XU Hongyu, et al. Analysis of volatile compounds of *Antrodia camphorata* in submerged culture using headspace solid-phase microextraction[J]. Food Chemistry, 2011, 127(2): 662-668.
- [10] VAZQIEZ-ARAUJO L, KOPPEL K, CHAMBERS IV E, et al. Instrumental and sensory aroma profile of pomegranate juices from the USA: differences between fresh and commercial juice[J]. Flavour and Fragrance Journal, 2010, 26(2): 129-138.
- [11] 郝菊芳, 徐玉娟, 李春美, 等. 不同品种荔枝香气成分的 SPME/GC-MS 分析[J]. 食品科学, 2007, 28(12): 404-408.
- [12] 窦宏亮, 李春美, 乔宇, 等. 炒青绿茶香气成分的 GC-MS 分析[J]. 食品科学, 2007, 28(5): 258-261.
- [13] 张猛, 汤浩茹, 王丹, 等. 费约果果实香气成分的 GC-MS 分析[J]. 食品科学, 2008, 29(8): 489-491.
- [14] 张捷莉, 车奋勇, 李学成, 等. 玉环柚果皮中香气成分的 GC-MS 分析[J]. 食品科学, 2008(10): 480-482.
- [15] 孙宝国, 郑福平, 谢建春, 等. 香精配方手册[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005: 3-74.
- [16] 郭莉, 吴厚玖, 王华, 等. 加工过程中夏橙汁香气成分的 SPME-GC-MS 分析[J]. 食品科学, 2010, 31(24): 259-263.
- [17] QIAO Yu, XIE Bijun, ZHANG Yan, et al. Characterization of aroma active compounds in fruit juice and peel oil of Jincheng sweet orange fruit (*Citrus sinensis*(L.) Osbeck) by GC-MS and GC-O[J]. Molecules, 2008, 13(6): 1333-1344.
- [18] 宋国新, 余应新, 王林祥, 等. 香气分析技术与实例[M]. 北京: 化学工业出版社, 2008: 20-33.
- [19] JIROVETZ L, BUCHBAUER G, GEISSLER M, et al. Pulp aroma compounds of untreated, boiled and roasted African pear [*Dacryodes edulis* (G. Don) H.J. Lam] fruits from Cameroon by HS-SPME analysis coupled with GC/FID and GC/MS[J]. Eur Food Res Technol, 2003, 218(1): 40-43.
- [20] 张顺花, 蒋玉梅, 韩舜愈, 等. 美乐葡萄汁和发酵醪中香气成分的 GC/MS 分析[J]. 食品工业科技, 2009(11): 93-96.