

气相色谱-质谱法中4种不同捕集方式对茶叶香气成分测定的影响

赵 玥¹, 肖成杰¹, 蔡宝国¹, 李 琼², 崔俭杰²

(1.上海应用技术学院香精香料技术与工程学院, 上海 200233; 2.上海香料研究所, 上海 200233)

摘 要: 采用固相微萃取(solid phase microextraction, SPME)、吹扫捕集-热脱附(purge & trap-thermal desorption, P&T-TD)、搅拌磁子吸附(stir bar sorptive extraction, SBSE)、动态顶空吸附(head space sorptive extraction, HSSE-1、HSSE-2 和 HSSE-3)4种捕集方式联用气相色谱-质谱仪对杭州龙井茶、黄山毛峰茶、山东崂山茶和福建乌龙茶进行分析, 研究茶的挥发性香气组分。结果显示: 茶的香气主要由烯类、醛类、醇类、酮类、酯类、酸类、芳香族化合物、含氮化合物、杂环化合物、含硫化合物、酚类化合物组成; 4类茶均含有大量的烯类、醛类、醇类和酮类化合物, 其中福建乌龙茶含量最高; 杭州龙井茶、黄山毛峰茶和山东崂山茶属绿茶类, 酯类、杂环类、芳香族类以及酚类化合物含量相对较高; 通过 HSSE-1、HSSE-2 对茶叶香气成分进行对比, 冲泡前后组分种类和含量略有不同。组分之间的差异使茶形成不同产地不同种类的茶叶的特有风味。

关键词: 茶叶; 香气; 固相微萃取; 吹扫捕集-热脱附; 搅拌磁子吸附; 气相色谱-质谱分析

Influences of Four Different Trap Methods on GC-MS Determination of Aromatic Components of Tea

ZHAO Yue¹, XIAO Cheng-jie², CAI Bao-guo¹, LI Qiong², CUI Jian-jie²

(1. College of Perfume and Aroma Technology, Shanghai Institute of Technology, Shanghai 200233, China;

2. Shanghai Research Institute of Fragrance and Flavor Industry, Shanghai 200233, China)

Abstract: The volatile flavor compounds in Hangzhou Longjing tea, Huangshan Maofeng tea, Shandong Laoshan Mountain tea and Fujian oolong tea were extracted by solid-phase micro-extraction (SPME), purge and trap-thermal desorption (P&T-TD), stir bar sorptive extraction (SBSE), headspace sorptive extraction (HSSE) and analyzed by GC-MS. The major aromatic constituents of tea consisted of vinyls, aldehydes, alcohols, ketones, esters, acids, aromatic compounds, nitrogen-containing compounds, heterocyclic compounds, sulfur-containing compounds, and phenolic compounds. The four varieties of tea were all rich in vinyls, aldehydes, alcohols, and ketones. Although these compounds indicated the largest content in Fujian oolong tea, Hangzhou Longjing tea, Huangshan Maofeng tea and Shandong Laoshan Mountain tea, belonging to the green tea family, contained higher contents of esters and heterocyclic, aromatic and phenolic compounds. The comparison between HSSE-1 and HSSE-2, where nitrogen purging was carried out over tea and below the liquid level of tea infusion, respectively, indicated that the composition and contents of aromatic compounds in tea presented a slight difference before and after being infused. Therefore, tea can reveal dramatic differences in their aromatic components according to different geographic origins and different varieties.

Key words: tea; flavor; solid-phase microextraction (SPME); thermal desorption; stir bar sorptive extraction (SBSE); gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS)

中图分类号: TS272

文献标识码: A

文章编号: 1002-6630(2011)16-0283-07

中国是茶的故乡, 制茶、饮茶已有几千年历史。主要茶类有绿茶、红茶、乌龙茶、白茶、黄茶和黑茶以及再加工茶(如花茶)。茶有健身、治疾之药物疗效, 又富欣赏情趣, 可陶冶情操。茶叶冲以煮沸的清水, 顺乎自然, 清饮雅尝, 寻求茶的固有之味, 重

在意境, 这是中式品茶的特点。同样质量的茶叶, 用水不同、茶具不同或冲泡技术不一, 泡出的茶汤会有不同的效果。我国自古以来就十分讲究茶的冲泡, 积累了丰富的经验。泡好茶, 要了解各类茶叶的特点, 掌握科学的冲泡技术, 使茶叶的固有品质能充分地表现出来^[1]。

收稿日期: 2010-10-12

作者简介: 赵玥(1985—), 女, 硕士, 研究方向为香精香料分析与安全性评价。E-mail: zhaoyue828@hotmail.com

随着科学的发展,经过现代科学的分离和鉴定,茶中含有机化学成分达450多种,无机矿物元素达40多种。茶叶中的有机化学成分和无机矿物元素含有许多营养成分和药效成分^[2]。根据已有资料显示,大多数对于茶叶香气挥发性成分分析均采用了顶空固相微萃取(head space solid phase micro extraction, HS-SPME)与气相色谱-质谱(gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS)联用^[3-11]的方式来分析其香气的挥发性成分。

从研究与应用的立场来看,运用GC-MS定性定量分析复杂混合物已经变得很普遍。气相色谱分析与质谱检测联用技术在分析领域应用很广,包括生活污水成分分析^[12-13]、空气中微量成分分析^[14]、在烟草食品工业中的质量控制分析等^[15-19]。GC-MS定性定量分析茶叶挥发性香气成分已成为一种常规的分析手法,例如,运用HS-SPME-GC/MS对青山绿水茶叶挥发性成分分析得到91种挥发性有机化合物^[7],直接进样气相色谱-质谱法对茶叶香气的分析^[20],减压水蒸气蒸馏(steam-distillation under reduced pressure, SDRP)和同时蒸馏(simultaneous distillation extraction, SDE)法提取乌龙茶香气^[21]。

本实验选用固相微萃取(solid phase microextraction, SPME)、吹扫捕集-热脱附(purge&trap-thermal desorption, P&T-TD)、搅拌磁子吸附(stir bar sorptive extraction, SBSE)、动态顶空吸附(headspace sorptive extraction, HSSE-1、HSSE-2和HSSE-3)4种不同的捕集方法对4种不同种类的茶叶挥发性香气成分进行提取,并用GC-MS对这4种不同种类的茶叶的挥发性香气成分进行分析。通过对不同种类茶叶的挥发性香气成分的研究,找出不同种类茶叶的挥发性香气成分差异所在,以及不同捕集方法的优劣,为香精香料以及食品行业的各种应用带来一定的理论参考价值。

1 材料与方法

1.1 材料、试剂与仪器

杭州龙井茶(产于杭州)、黄山毛峰茶(产于黄山)、山东崂山茶(产于山东崂山)、福建乌龙茶(产于福建),以上4种茶品均为市售;甲醇(色谱纯);乙醇(分析纯)。

热脱附系统TDS3(包含TENAX采样管) 德国Gerstel公司;固相微萃取装置(含CAR/PDMS萃取头) 美国Supelco公司;TISTER搅拌磁子 瑞士Metrohm公司;7890A-5975C气相色谱-质谱联用仪 美国Agilent公司;超声波清洗机 中国杰理科技公司;AL204精密电子天平 梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司。

1.2 方法

1.2.1 固相微萃取进样法与分析条件

1.2.1.1 自动顶空固相微萃取法步骤

将样品轻轻压碎放入30mL样品瓶内。设置固相微萃取程序。固相微萃取针先在GC进样口250℃老化30min。然后对样品由程序控制进行自动固相微萃取的吸附,由气质联用仪进行分析。

1.2.1.2 顶空固相微萃取条件

萃取头: CAR/PDMS;平衡温度: 85℃;转速: 250r/min;正转5s,反转5s;平衡时间: 15min;吸附时间: 10min;解析温度: 250℃;解析时间: 2min;进样口温度: 250℃;溶液体积: 8mL;盐浓度: 3mol/L。

1.2.2 吹扫捕集-热脱附进样法与分析条件

1.2.2.1 吹扫捕集的步骤

搭建吹扫捕集装置(图1),将气瓶置于80℃水浴锅中,以0.3MPa高纯氮气进行吹扫捕集。吹扫捕集60min,取下TENAX管(采样管),以橡胶封帽塞好,备用。拆除吹扫捕集装置。

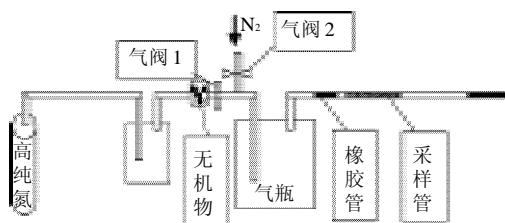


图1 TENAX管吸附前处理方法流程图

Fig.1 Flow diagram of TENAX adsorption-based pretreatment

1.2.2.2 热脱附的操作步骤

设置热脱附系统的条件以及气相色谱-质谱的条件。预运行热脱附程序,将预先准备好的TENAX管装入热脱附装置。运行热脱附程序和气相色谱-质谱程序。

1.2.2.3 热脱附系统条件

热脱附(thermal desorption spectroscopy, TDS)条件:不分流进样;初始温度40℃,延迟运行1min,以60℃/min速率升温至200℃,保持3min,再以30℃/min的速率升温至260℃,保持3min;传输线温度280℃;热脱附完成后快速冷却至预备温度50℃。

冷进样(cold injection system, CIS)系统:采用标准加热模式;初始温度-90℃,以12℃/s的速率升至250℃,保持1min。

1.2.3 TISTER磁力搅拌转子吸附方法和条件

样品放入样品瓶内,用开水冲泡,TISTER磁力搅拌转子置于茶汤内进行吸附,30min后取出装入无填料的TENAX管(采样管)中进行热脱附。热脱附操作步骤和条件与1.2.2.2节和1.2.2.3节相同。

1.2.4 动态顶空吸附方法及条件

将吹扫捕集装置(图1)中TENAX管(采样管)内填料以TISTER磁力搅拌转子代替,样品放入样品瓶内,用0.3MPa氮气对茶叶上空进行吹扫,采用磁力搅拌转子进行动态顶空吸附(HSSE-1);样品用开水冲泡后,用0.3MPa氮气对茶汤液面以下进行吹扫,采用磁力搅拌转子进行动态顶空吸附(HSSE-2);用0.3MPa氮气对茶汤表面进行吹扫,采用磁力搅拌转子进行动态顶空吸附(HSSE-3)。吸附与热脱附操作步骤和条件与1.2.2节相同。

1.2.5 气相-质谱联用仪的操作步骤

1.2.5.1 气相色谱条件1

载气: He, 流速为1mL/min; 色谱柱: Hp-5MS; 进样方式: 不分流; 压力: 7.58psi; 流量: 1mL/min; 模式: 恒流; 柱温条件: 初始温度50℃, 保持5min, 以4℃/min的速率升温至230℃, 保持10min; GC与MS传输线温度280℃。

1.2.5.2 气相色谱条件2

色谱柱: Agilent 19 INNOWAX(60m × 0.25mm, 0.25 μm); 测量温度范围: -60~240℃(极限250℃); 载气: 氦气(99.999%); 溶剂排空模式进样; 分流出口吹扫流量: 30mL/min, 时长0.01min; 出口流量40mL/min, 压力2psi, 时长0.01min; 柱流量: 1mL/min; 柱温条件: 初始温度50℃, 保持5min, 以4℃/min速率升温至230℃, 保持10min; 载气为氦气, 流速为1mL/min; GC与MS传输线温度280℃。

1.2.5.3 质谱条件

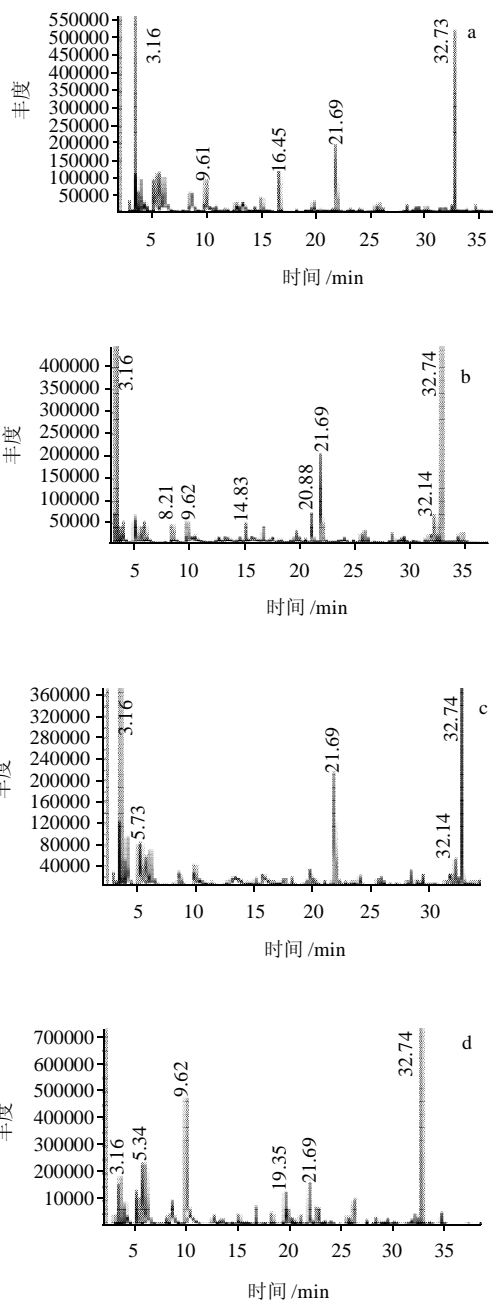
质谱: 四极杆; 离子化方法: 电子轰击离子化, 全扫描1pg八氟萘至少信噪比10:1; 离子源温度: 230℃; 检测器温度: 250℃; 扫描方式: 全扫描; 质量范围: 20~450u; 真空系统: 分子涡轮泵; 溶剂延时: 2min; 电子轰击离子源(electron impact, EI), 温度230℃, 电子能量70eV; 扫描范围: 30~100u; 采用全扫描模式采集数据; 数据处理: 采用Nist 05标准图谱库, Wiley标准图谱库, Mylib自建图谱库, 进行数据检索。

2 结果与分析

分别采用SPME、P&T-TD、SE(HSSE和SBSE), 分别对杭州龙井茶、黄山毛峰茶、山东崂山茶、福建乌龙茶4个样品进行测定。

2.1 固相微萃取分析研究

按照1.2.1节固相微萃取进样法分析条件和1.2.3.1节气相色谱条件1和质谱条件对杭州龙井茶、黄山毛峰茶、山东崂山茶、福建乌龙茶4个样品进行分析, 得到的挥发性成分总离子流图(total ion chromatograms, TIC)如图2所示。



a. 杭州龙井茶; b. 黄山毛峰茶; c. 山东崂山茶; d. 福建乌龙茶。

图2 固相微萃取法测定茶叶中挥发性成分总离子流图

Fig.2 TIC of volatile components in teas extracted by SPME

人们对杭州龙井茶、黄山毛峰茶、山东崂山茶、福建乌龙茶喜好不同, 因为它们之间存在着气味和口味上的差别, 包括甜、香、苦、涩等, 而这些气味和味道的载体就是对应的不同化合物、比如醇类的醇香、酯类的酯香等, 这些茶叶的色谱图可以很好的展现出它们之间存在着差异。采用SPME法, 其萃取头(CAR/PDMS)可以很容易的提取出茶叶上方空间中的有机物, 得到较满意的分析效果, 其分析的组分见表1。

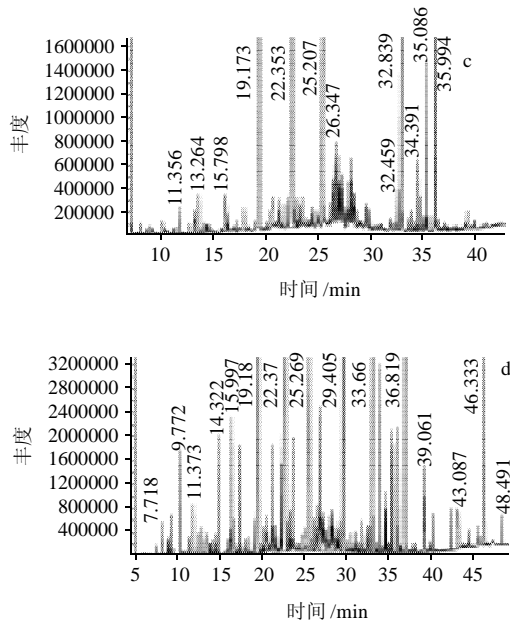
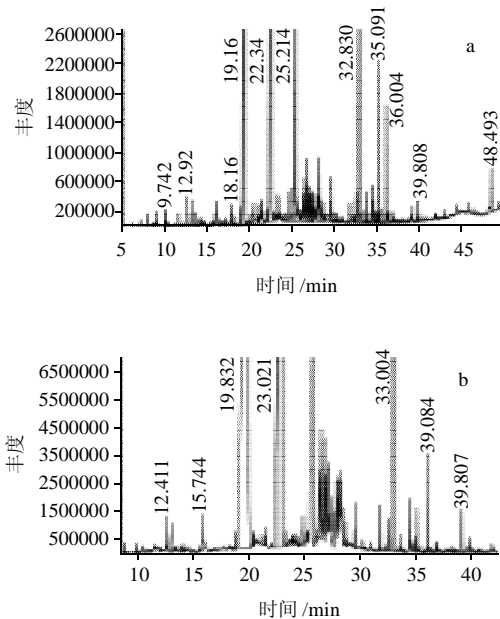
表1 SPME 测定茶叶挥发性成分汇总
Table 1 Volatile components and their relative contents in teas identified by SPME/GC-MS

化合物种类	杭州龙井		黄山毛峰		山东崂山		福建乌龙	
	含量/%	个数	含量/%	个数	含量/%	个数	含量/%	个数
烯类	18.02	8	40.40	10	18.55	7	13.59	8
醛类	24.90	10	20.68	10	19.72	9	38.73	18
醇类	10.76	7	8.23	6	3.30	3	13.88	7
酮类	5.04	5	5.12	6	6.97	5	6.59	4
酯类	1.20	2	0.34	1	0.19	1	0	0
酸类	2.89	1	1.90	1	3.16	2	1.15	1
烷烃	15.19	4	0.00	0	28.09	1	14.51	3
含卤化合物	0.00	0	4.66	1	0.00	0	0.36	1
芳香族化合物	1.68	3	0.57	1	0.00	0	2.12	4
含氮化合物	0.26	1	0.68	2	4.03	2	0.48	2
杂环化合物	0.00	0	1.41	1	0.00	0	4.62	4
含硫化合物	11.87	1	11.89	2	10.43	2	2.32	2

由表1可以看出,不同种类的茶叶中,各种化合物的组分各不相同;使用固相微萃取方法分析的4种茶叶中,黄山毛峰茶含有大量的烯类化合物,福建乌龙茶含有较多的醛类化合物和醇类化合物;由于杭州龙井茶、黄山毛峰茶、山东崂山茶都为绿茶类,而福建乌龙茶为半发酵型茶,因此,福建乌龙茶酯类化合物含量最低,其含硫化合物的含量也较其他3种茶叶低。

2.2 吹扫捕集-热脱附的分析研究

按照1.2.2节P&T-TD分析条件和1.2.3.2节气相色谱条件2和质谱条件分析条件对杭州龙井茶、黄山毛峰茶、山东崂山茶、福建乌龙茶4个样品进行分析,得到P&T-TD测定茶叶中挥发性成分TIC,如图3所示。



a.杭州龙井茶; b.黄山毛峰茶; c.山东崂山茶; d.福建乌龙茶。
图3 吹扫捕集-热脱附测定茶叶中挥发性成分总离子流图
Fig.3 TIC of volatile components in teas extracted by P&T-TD

采用P&T-TD法,其TENAX管可以大量捕集干的茶叶上空的挥发性香气成分,从图3可以看到,P&T-TD法得到的TIC图,其峰的个数明显多于SPME法得到的TIC图,并且基本上可以准确地反映出茶叶上空气中挥发性香气物质的组成比例。其分析的组分见表2。

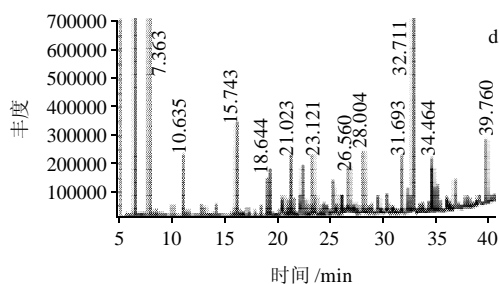
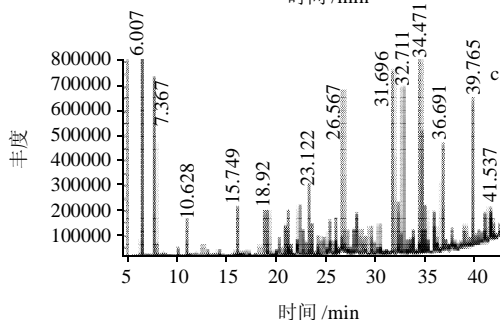
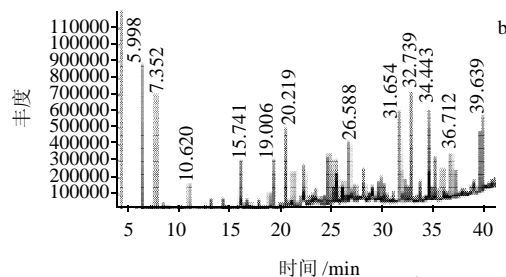
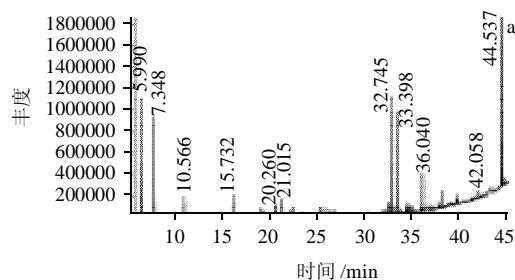
表2 热脱附法测定茶叶挥发性成分汇总
Table 2 Volatile components and their relative contents in teas identified by P&T-TD/GC-MS

化合物种类	杭州龙井		黄山毛峰		山东崂山		福建乌龙	
	含量/%	个数	含量/%	个数	含量/%	个数	含量/%	个数
烯类	5.46	14	5.42	29	4.06	17	14.92	24
醛类	2.28	8	0.85	8	2.20	10	6.46	15
醇类	2.67	7	3.05	18	1.74	7	13.61	16
酮类	2.25	6	2.67	9	1.18	7	3.10	14
酯类	14.80	5	9.42	7	14.92	9	4.51	15
酸类	2.39	3	0.71	5	1.66	5	2.24	7
烷烃	59.53	14	68.56	25	58.41	14	42.87	13
含卤化合物	0.65	1	0.00	0	0.66	1	0.40	1
芳香族化合物	1.79	8	1.31	25	1.21	10	1.34	18
含氮化合物	0.60	1	0.09	1	0.73	1	0.27	1
杂环化合物	3.25	4	1.86	6	1.87	4	1.91	7
含硫化合物	0.00	0	0.10	1	0.00	0	0.16	1
酚类	1.86	1	0.74	2	4.13	2	0.98	1

由表2可以看出,不同种类的茶叶中,各种化合物的组分也各不相同;使用吹扫捕集-热脱附方法分析的4种茶叶中,乌龙茶含有烯类、醛类、醇类和酮类化合物含量最高。杭州龙井茶、黄山毛峰茶、山东崂山茶都为绿茶类,酯类、杂环类化合物、芳香族类化

合物和酚类化合物含量相对福建乌龙茶而言较高。

2.3 HSSE 和 SBSE 的分析研究



a. SBSE 磁力搅拌转自吸附; b. HSSE-1 吹扫捕集; c. HSSE-2 吹扫捕集; d. HSSE-3 吹扫捕集。

图4 SBSE 和 HSSE 测定杭州龙井茶叶中挥发性成分总离子流图
Fig.4 TIC of volatile components in Hangzhou Longjing teas extracted by SBSE or HSSE

按照 1.2.2.2 节和 1.2.2.3 节热脱附条件和 1.2.3.2 节气相色谱条件 2 和质谱条件分析条件, 以杭州龙井茶为例进行分析, 通过磁力搅拌转子 TISTER 在用开水泡开的杭州龙井茶的茶汤中进行 SBSE 吸附后, 热脱附分析得到图 4(a); 用 0.3MPa 氮气对杭州龙井茶茶叶上空进行吹扫, 采用通过磁力搅拌转子 TISTER 进行动态顶空吸附 (HSSE-1) 后, 热脱附分析得到图 4(b); 用 0.3MPa 氮气

对杭州龙井茶茶汤通过液面以下进行吹扫, 采用通过磁力搅拌转子 TISTER 进行动态顶空吸附 (HSSE-2) 后, 热脱附分析得到图 4(c); 用 0.3MPa 氮气对杭州龙井茶茶汤表面进行吹扫, 采用通过磁力搅拌转子 TISTER 进行动态顶空吸附 (HSSE-3) 后, 热脱附分析得到图 4(d)。

采用 SBSE, 其磁力搅拌转子除了吸附少量挥发性香气成分之外, 可以大量捕集茶汤中的难挥发性成分, 而 HSSE 法则主要吸附捕集大量挥发性香气成分, 其反映出茶叶的香气物质的组成, 见表 3。

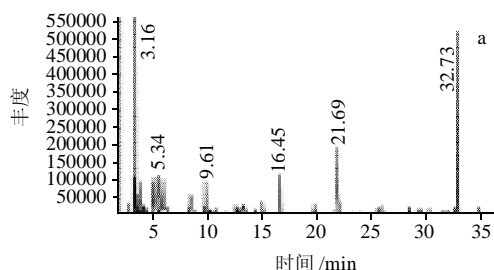
表3 SBSE 和 HSSE 测定茶叶挥发性成分汇总
Table 3 Volatile components and their relative contents in teas identified by SBSE or HSSE combined with GC-MS

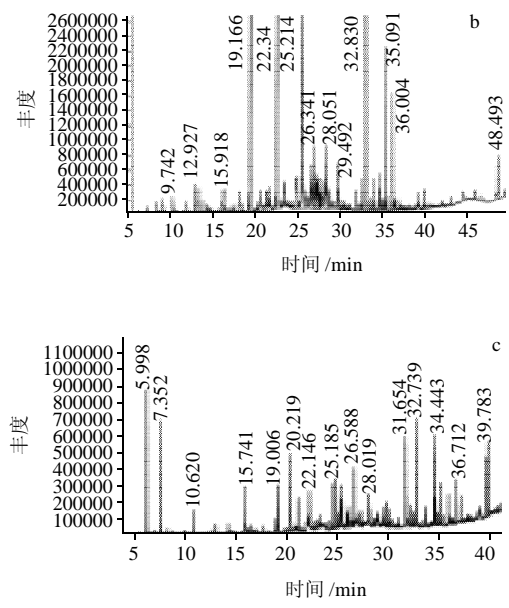
化合物种类	SBSE		HSSE-1		HSSE-2		HSSE-3	
	含量/%	个数	含量/%	个数	含量/%	个数	含量/%	个数
烯类	20.23	5	21.24	18	8.19	8	6.49	4
醛类	2.14	2	1.65	2	4.54	6	6.62	8
醇类	2.26	5	7.04	6	16.79	9	10.06	7
酮类	1.02	4	4.31	6	17.58	9	7.42	6
酯类	18.97	4	3.62	3	10.87	8	7.15	6
酸类	10.62	6	11.96	8	5.76	4	13.85	3
烷烃	2.47	3	8.79	15	7.29	6	6.81	5
芳香族化合物	0.71	1	2.07	6	3.96	6	1.92	3
含氮化合物	21.66	2	20.83	2	13.34	2	20.45	2
杂环化合物	0.22	1	1.52	2	3.87	4	1.97	2
酚类	0.00	0	0.00	0	1.71	2	0.55	1

由表 3 可见, 使用不同 SBSE 和 HSSE 方法测定茶叶, 得到的各种化合物的组分也各不相同; SBSE 相对于其他 3 种方法, 其检出物主要集中在中高沸点区, 且检出物个数(33 个)相对少于其他 3 种分析方法(HSSE-1, 68 个; HSSE-2, 64 个; HSSE-3, 47 个)。茶叶泡开后, 气味发生改变, 从 HSSE-1 和 HSSE-2 可以看出, 泡开前(HSSE-1)主要含有烯类、酯类、酸类和含氮化合物, 而泡开后(HSSE-2)主要含有醇类、酮类、酯类和含氮化合物。

2.4 SPME、P&T-TD 和 HSSE-1 方法对比

在实验中, 对于干的茶叶香气分析相对较好的 SPME、P&T-TD 和 HSSE-13 种方法进行对比, 以杭州龙井茶为例, 得到的 TIC 图如图 5 所示。





a. SPME; b. P&T-TD; c. HSSE-1.

图5 杭州龙井 SPME、P&T-TD 和 HSSE-1 的 TIC 图

Fig.5 TIC of Hangzhou Longjing tea based on SPME, P&T-TD and HSSE-1

SPME、P&T-TD 和 HSSE-1 这 3 种分析方法分析的对象虽然相同，但侧重点却不相同，从图 5 可以明显看出，SPME 主要吸附了茶叶的极易挥发性物质，P&T-TD 易吸附较易挥发性以及中等挥发性物质；HSSE-1 主要吸附了茶叶中极易挥发性物质和较高沸点挥发性物质。对比结果见表 4。

表 4 杭州龙井 SPME、P&T-TD 和 HSSE-1 分析汇总

Table 4 Volatile components and their relative contents in Hangzhou Longjing tea identified by SPME, P&T-TD or HSSE-1 combined with GC-MS

化合物种类	SPME		P&T-TD		HSSE-1	
	含量/%	个数	含量/%	个数	含量/%	个数
烯类	18.02	8	5.46	14	21.24	18
醛类	24.90	10	2.28	8	1.65	2
醇类	10.76	7	2.67	7	7.04	6
酮类	5.04	5	2.25	6	4.31	6
酯类	1.20	2	14.80	5	3.62	3
酸类	2.89	1	2.39	3	11.96	8
烷烃	15.19	4	59.53	14	8.79	15
含卤化合物	0.00	0	0.65	1	0.00	0
芳香族化合物	1.68	3	1.79	8	2.07	6
含氮化合物	0.26	1	0.60	1	20.83	2
杂环化合物	0.00	0	3.25	4	1.52	2
含硫化合物	11.87	1	0.00	0	0.00	0
酚类	0.00	0	1.05	1	0.00	0

从表 4 可以看出，使用不同 SPME、P&T-TD 和 HSSE-1 方法测定茶叶，得到的各种化合物的组分也各不相同；采用 SPME 主要吸附了茶叶中大量的极易挥发性

物质，如烯类、醛类、醇类；采用 P&T-TD 方法主要吸附了茶叶中较易挥发性以及中等挥发性物质，如酯类、烷烃类、杂环化合物、酚类；采用 HSSE-1 方法主要吸附了茶叶中极易挥发的烯类以及较高沸点挥发性物质，如酸类、含氮化合物。

3 讨论

本研究采用 SPME、P&T-TD、SBSE、HSSE-1、HSSE-2 和 HSSE-3 方法对杭州龙井茶、黄山毛峰茶、山东崂山茶和福建乌龙茶进行分析。

据采用 SPME 方法分析茶叶中挥发性成分汇总显示，CAR/PDMS 萃取头易吸附挥发性有机物，由于茶叶中有机物种类多样，成分复杂，有可能是由于萃取头吸附易挥发性有机物量较大，使得其他一部分中等挥发性有机物和较难挥发的有机物达到一定温度的时候，萃取头能吸附的有机化合物的量较小，未达到气质联用仪的最低检测量，而未检出。

据采用 P&T-TD 方法分析茶叶中挥发性成分汇总显示，TENAX 管对于茶叶的各种挥发性香气化合物的吸附都较完整，从易挥发的有机化合物到较难挥发的有机化合物都有检出。

据采用 SBSE、HSSE-1、HSSE-2 和 HSSE-3 方法分析杭州龙井茶中挥发性成分汇总显示：SBSE 方法虽然先进，但对于茶汤而言，其挥发性成分易逸出水面，无法很好的吸附到 TISTER 磁力搅拌转子头中；在 HSSE-1 方法吹扫捕集的过程中，TISTER 磁力搅拌转子替代了 TENAX 管的吸附段部分，检出物个数与 P&T-TD 基本一致；HSSE-2 和 HSSE-3 都是吸附了杭州龙井茶汤中的化合物，HSSE-2 采用的是液面下的吹扫捕集方法，HSSE-3 采用的是液面表面的吹扫捕集方法，这两种方法中，HSSE-2 方法的检出物较多，是由于在高纯氮的吹扫捕集过程中，直接接触了杭州茶的茶汤，带出了茶汤中一部分中等挥发性挥发物质(酮类、酯类)；在茶叶泡开后，其挥发性成分也发生了一定的改变，从 HSSE-1 和 HSSE-2 可以看出，泡开前(HSSE-1)主要含有烯类、酯类、酸类和含氮化合物，而泡开后(HSSE-2)主要含有醇类、酮类、酯类和含氮化合物。

根据多种方法的分析结果显示，茶叶的香气主要由烯类、醛类、醇类、酮类、酯类、酸类、芳香族化合物、含氮化合物、杂环化合物、含硫化合物、酚类组成，其各个组分的含量不同，形成了不同产地不同种类的茶叶的特有风味。这不仅使得茶深受全世界各国人民的喜爱，也成就了中华民族源远流长的茶文化。

参考文献：

[1] 汪桓武, 何莲, 汪江. 弘扬中华茶文化[J]. 贵州茶叶, 2006, 34

- (4): 24-26.
- [2] 戴立武, 李国华, 吴若平. 茶叶的功效与健康[J]. 温州农业科技, 2004 (4): 6-8.
- [3] WU Fang, LU Wanping, CHEN Jinghua, et al. Single-walled carbon nanotubes coated fibers for solid-phase microextraction and gas chromatography-mass spectrometric determination of pesticides in tea samples [J]. *Talanta*, 2010, 82(3): 1038-1043.
- [4] CAI Lingshuang, XING Jun, DONG Li, et al. Application of polyphenylmethylsiloxane coated fiber for solid-phase microextraction combined with microwave-assisted extraction for the determination of organochlorine pesticides in Chinese teas[J]. *Journal of Chromatography A*, 2003, 1015(1/2): 11-21.
- [5] 刘晓慧, 张丽霞, 王日为, 等. 顶空固相微萃取 - 气相色谱 - 质谱联用法分析黄茶香气成分[J]. *食品科学*, 2010, 31(16): 239-243.
- [6] 苗爱清, 凌彩金, 庞式, 等. 金萱乌龙茶香气成分的分析研究[J]. *广东农业科学*, 2007(9): 82-83; 97.
- [7] 窦宏亮, 李春美, 顾海峰, 等. 采用 HS-SPME/GC-MS/GC-Olfactometry/RI 对绿茶和绿茶鲜汁饮料香气的比较分析[J]. *茶叶科学*, 2007, 27(1): 51-60.
- [8] BAPTISTA J A B. Comparison of catechins and aromas among different green teas using HPLC/SPME-GC[J]. *Food Research International*, 1998, 31(10): 729-736.
- [9] 詹家芬, 陆舍铭, 孟昭宇, 等. 固相微萃取/加速溶剂萃取 - 气相色谱 - 质谱法分析青山绿茶茶叶的挥发性成分[J]. *色谱*, 2008, 26(3): 301-305.
- [10] 王力, 蔡良绥, 林智, 等. 顶空固相微萃取 - 气质联用法分析白茶的香气成分[J]. *茶叶科学*, 2010, 30(2): 115-123.
- [11] 宋金勇, 马宇平, 王文领, 等. 吸附热脱附 - 气相色谱 - 质谱联用分析[J]. *衡阳师范学院学报*, 2006, 27(3): 63-65.
- [12] 陈云霞, 游静, 陈淑莲, 等. 用吹扫捕 - 热脱附 - 气相色谱 - 质谱法分析生活污水中挥发性有机物[J]. *分析测试学报*, 2000, 19(1): 26-29.
- [13] SEGOVIA-MARTINEZ L, BOUZAS-BLANCO A, CAMPÍNS-FALCÓ P, et al. Improving detection limits for organotin compounds in several matrix water samples by derivatization-headspace-solid-phase microextraction and GC-MS [J]. *Talanta*, 2010, 80(5): 1888-1893.
- [14] 郑志锋, 田森林. 吸附浓缩/热脱附 - 空气中挥发性有机物分析前处理技术[J]. *云南环境科学*, 2006, 25 (2): 44-46.
- [15] 徐伟玲, 赵云荣, 王文领. 吸附热脱附 - 气质联用技术分析烟丝中挥发及半挥发性成分[J]. *化学研究*, 2006, 17(1): 92-94.
- [16] 侯英, 杨蕾, 王保兴, 等. 应用搅拌棒吸附萃取 - 热脱附 - 气相色谱 - 质谱分析烟用香料的化学成分[J]. *色谱*, 2006, 24(6): 601-605.
- [17] TATEO F, BONONI M. Determination of gamma-butyrolactone (GBL) in foods by SBSE-TD/GC/MS [J]. *Journal of food composition and analysis*, 2003, 16(6): 721-727.
- [18] HO C W, WANAIIDA W M, MASKAT M Y, et al. Optimization of headspace solid phase microextraction (HS-SPME) for gas chromatography mass spectrometry (GC-MS) analysis of aroma compound in palm sugar (*Arenga pinnata*)[J]. *Journal of Food Composition and Analysis*, 2006, 19(8): 822-830.
- [19] 杨勇, 侯英, 杨蕾, 等. 热脱附 - 气 - 质联用法快速测定烟用印刷油墨中的挥发性成分[J]. *云南化工*, 2007, 34(6): 28-31.
- [20] 叶红, 周春宏, 王克其. 直接进样气相色谱 - 质谱法对茶叶香气的分析[J]. *食品研究与开发*, 2007, 28(12): 138-140.
- [21] 陈悦娇, 王冬梅, 邓炜强, 等. SDRP 和 SDE 法提取乌龙茶香气成分的比较研究[J]. *中山大学学报*, 2005, 44(增刊 1): 275-278.