

预处理方式对古丈毛尖茶香气成分的影响

Effects of pretreatment on aroma components of Guzhang Maojian Tea

向小乐^{1,2} 余 佶² 杨万根² 麻成金^{1,2}

XIANG Xiao-le^{1,2} YU Ji² YANG Wan-gen² MA Cheng-jin^{1,2}

(1. 吉首大学林产化工工程湖南省重点实验室, 湖南 张家界 427000;

2. 吉首大学食品科学研究所, 湖南 吉首 416000)

(1. Key Laboratory of Hunan Forest Products and Chemical Industry Engineering, Jishou University, Zhangjiajie, Hunan 427000, China; 2. Institute of Food Science, Jishou University, Jishou, Hunan 416000, China)

摘要:以特优级古丈毛尖茶为研究对象,采用固相微萃(SPME)和气相色谱—质谱联用法(GC—MS)分析其香气组分,并比较直接吸附和泡后吸附两种不同方式预处理作用下的组成差异。结果表明,直接吸附法检出香气成分 109 种,其中烯类 26 种、烃类 25 种、醇类 17 种、酮类 9 种、酯类 13 种、醛类 4 种、含氮化合物 6 种、酸类 2 种、酚类 2 种、醚类 1 种、杂环及其他类 4 种;泡后吸附法检出香气成分 63 种,其中烯类 12 种、烃类 4 种、醇类 14 种、酮类 8 种、酯类 5 种、醛类 12 种、酚类 2 种、含氮化合物 4 种、杂环及其他类 2 种。二者共同检出香气成分 37 种,共检出 135 种。说明茶叶的香气成分受预处理方式的影响较大,两种预处理方法互为补充,能更好地反映古丈毛尖茶香气的本质特性。

关键词:古丈毛尖茶;香气;预处理;固相微萃取;气相色谱—质谱联用

Abstract: The aroma components of Guzhang Maojian Tea was extracted by solid-phase microextraction (SPME), and identified by gas chromatography-mass spectrometry (GC—MS). Then compared the difference of two different pretreatment. Results showed that, a total of 109 aroma compounds were found in Guzhang Maojian Tea identified by direct adsorption, which including 26 alkene, 25 hydrocarbons, 17 alcohols, 9 ketones, 13 esters, 4 aldehydes, 6 nitrogen containing compound, 2 acids, 2 phenols, 1 ether, 4 heterocycle and others. And 63 kinds were determined by bubbled adsorption, which including 12 alkene, 4 hydrocarbons, 14 alcohols, 8 ketones, 5 es-

ters, 12 aldehydes, 2 phenols, 4 nitrogen containing compound, 2 heterocycle and others. both of two pretreatment detection 37 kinds and total detection 135 aroma components. Indicate that the aroma compounds of tea was greatly effected by pretreatment, two pretreatment complement each other and can better reflect the essence of aroma of Guzhang Maojian Tea.

Keywords: Guzhang Maojian green tea; aroma; pretreatment; SPME; GC—MS

武陵山片区平均海拔在 1 000 m 左右,常年重云积雾,土壤富硒富磷,十分有利于茶树生长和茶叶优异品质形成。自古以来多产名优好茶,沅陵碣滩茶、安化黑茶、古丈毛尖等均出于此。古丈毛尖富含蛋白质、氨基酸、生物碱、茶多酚、有机酸以及水溶性矿物质,具有生津解渴、清心明目、提神醒脑、去腻消食、防御放射性元素等多种功能^[1]。

香气是衡量茶叶品质的重要因素之一,对其感官品质的贡献率达 25%~40%,也是鉴别茶叶品种的主要指标^[2,3]。常用来提取茶叶中香气成分的方法主要有水蒸气蒸馏法^[4]、同时蒸馏—萃取法^[5]、顶空吸附法^[6]、超临界流体萃取法^[7]、吹扫捕集法^[8]以及固相微萃取^[5-7]等。其中固相微萃取技术因所需样品少、灵敏度高、重现性好、操作简便,且不需有机溶剂的特点^[9-11],已成功应用于乌龙茶^[12]、绿茶^[13]、黑茶、普洱茶^[5]、黄茶^[3]、红茶、白茶^[6]和苦丁茶^[7]等茶叶香气物质组成分析。

茶叶中香气物质的预处理方法主要有直接吸附^[3,14]和泡后吸附^[6,7]两种,其中直接吸附法能更好地反映茶叶原始固有香气,而泡后吸附法则更符合人类饮食习惯。目前,已有部分文献^[15,16]涉及利用上述两种预处理方式之一来分析茶叶中香气组分,但尚无将这两种预处理后茶叶香气成分

基金项目:2012 年湖南省科技厅资助项目(编号:2012NK3009)

作者简介:向小乐(1989—),男,吉首大学在读硕士研究生。

E-mail:281946730@qq.com

通讯作者:麻成金

收稿日期:2015-05-07

检测结果进行比较的文献报道。

本研究拟采用固相微萃取 (SPME) 和气质联用 (GC—MS) 法对两种不同方式预处理下古丈毛尖茶中香气成分进行比较,旨在探明古丈毛尖茶的香气物质组成及进一步为茶叶的香气研究提供试验参考和理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

特优级古丈毛尖茶:采自湖南古丈牛角山茶叶基地,按杀青、清风、初揉、炒二青、复揉、炒三青、做条、提毫收锅八道工序加工成茶,感官审评具有绿茶特有鲜香。

1.2 仪器与设备

气相色谱—质谱联用仪:7890A-5975C 型,美国安捷伦科技公司;

手动 SPME 进样装置、65 μm PDMS/DVB 萃取头 (标为 1 号)、75 μm Carboxen/PDMS 萃取头 (标为 2 号);美国 Supelco 公司;

恒温水浴锅:HH-S₂ 型,巩义市科华仪器设备有限公司;
电子天平:FA2004 型,上海舜宇恒平科学仪器有限公司。

1.3 SPME 萃取方法

1.3.1 直接吸附萃取 萃取头在 GC 进样口 250 $^{\circ}\text{C}$ 老化 30 min,称取 3 g 粉碎均匀古丈毛尖茶放入萃取瓶中^[3,13],立

即压盖密闭瓶口,于 80 $^{\circ}\text{C}$ 恒温水浴锅中平衡 10 min,然后将 SPME 手持器通过瓶盖橡皮垫插入萃取瓶,推出纤维头,吸附萃取 1 h,随即插入 GC 进样口 250 $^{\circ}\text{C}$ 脱附 5 min。

1.3.2 泡后吸附萃取 萃取头在 GC 进样口 250 $^{\circ}\text{C}$ 老化 30 min,称取 1 g 粉碎均匀古丈毛尖茶放入萃取瓶中,加入 3 mL 沸水冲泡^[6,14],立即压盖密闭瓶口,于 80 $^{\circ}\text{C}$ 恒温水浴锅中平衡 10 min,然后将 SPME 手持器通过瓶盖橡皮垫插入萃取瓶,推出纤维头,吸附萃取 1 h,随即插入 GC 样口 250 $^{\circ}\text{C}$ 脱附 5 min。

1.4 气相色谱—质谱联用分析条件

1.4.1 GC 条件 色谱柱为 HP-5MS (Agilent 190191S-433) 型毛细管柱,30 m $\times$ 250 $\mu\text{m}\times$ 0.25 μm ,325 $^{\circ}\text{C}$;载气为高纯 He (99.99%),流速 1.0 mL/min;柱前压 69.7 kPa;升温程序为:初始柱温 35 $^{\circ}\text{C}$,保持 5 min,以 4 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升温至 210 $^{\circ}\text{C}$,保持 5 min,再以 5 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升温至 220 $^{\circ}\text{C}$ (不保持),进样口温度 250 $^{\circ}\text{C}$;分流比 1:1,进样量 1 μL ^[15,16]。

1.4.2 MS 条件 离子源温度 230 $^{\circ}\text{C}$,电离方式 EI,电子能量 70 eV,扫描质量范围 35~400 amu。

2 结果与分析

2.1 香气成分分析

按照 1.3 的方法,分别采用两种萃取头对古丈毛尖茶中香气成分进行比较分析,得总离子流图见图 1,结果见表 1。

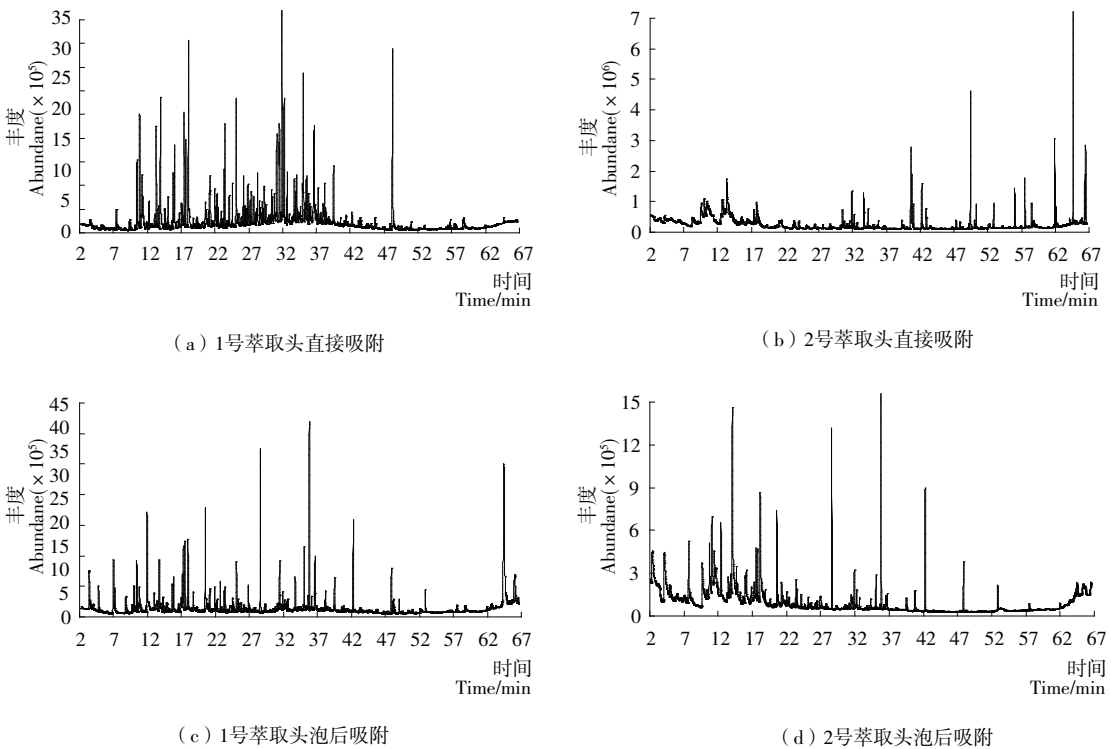


图 1 古丈毛尖茶的香气成分 GC—MS 总离子流图

Figure 1 Chromatogram of aroma compounds of Gu Zhang Maojian tea

表 1 古丈毛尖茶香气成分 GC—MS 分析结果

Table 1 GC—MS analytical results of aroma compounds of Guzhang Maojian tea

峰号	保留时间/ min	香气成分	相对含量/%				峰号	保留时间/ min	香气成分	相对含量/%			
			直接吸附		泡后吸附					直接吸附		泡后吸附	
			1 号	2 号	1 号	2 号				1 号	2 号	1 号	2 号
1	4.12	叶醇	0.25	—	—	7.93	43	21.08	异薄荷醇	0.28	—	0.17	—
2	8.06	甲氧基苯酚	0.69	—	2.90	3.01	44	21.23	顺- α , α -5-三甲基-5-乙烯基 四氢-2-呋喃甲醇	1.06	0.65	—	—
3	9.83	苯甲醛	—	0.52	0.93	5.26	45	21.96	α -松油醇	0.76	—	0.70	0.43
4	10.17	2-氨基蒽	0.27	—	0.60	—	46	22.31	2,3-二氢-2,2,6-三甲基-苯 甲醛	0.62	0.08	0.39	—
5	10.27	3,5,5-三甲基-2-己烯	2.21	—	1.29	—	47	22.45	十二烷	0.38	—	—	—
6	10.37	1-庚烯-3-酮	—	—	0.23	—	48	22.78	正癸醛	—	—	0.87	—
7	11.19	1-辛烯-3-醇	—	—	2.20	4.53	49	23.07	4-甲基吡啶-2-甲醛	—	—	0.15	—
8	11.43	2,3-辛二酮	—	—	0.29	—	50	23.36	β -环柠檬醛	1.15	0.53	0.69	1.17
9	11.44	6-甲基-5-庚烯-2-酮	—	—	0.78	—	51	23.39	二乙基醋酸	—	0.66	—	—
10	10.67	1-癸烯-3-酮	0.20	—	—	—	52	23.48	3(2-乙基丁酸)-1,2,3-甘油 三酯	1.92	—	—	—
11	10.88	蘑菇醇	3.30	—	—	—	53	23.76	2,3-二氢苯并呋喃	0.22	—	—	—
12	11.12	4-壬酮	0.30	—	—	—	54	24.02	2,6,6-三甲基-1-环己烯基- 乙醛	—	0.08	—	—
13	11.22	甲基庚烯酮	1.45	—	—	—	55	24.36	(Z)-3,7-二甲基-2,6-辛二 烯醛	—	—	0.17	—
14	11.37	2-戊基呋喃	1.02	—	—	—	56	25.14	橙花醇	3.01	—	0.27	—
15	12.35	辛醛	—	—	0.24	—	57	25.15	香叶醇	—	—	1.68	—
16	12.38	反-2,4-庚二烯醛	—	—	0.18	—	58	26.24	2-甲基癸烷	1.19	—	—	—
17	13.11	M-异丙基甲苯	0.30	—	—	—	59	26.44	乙酸冰片酯	0.39	0.27	0.40	0.36
18	13.32	右旋萜二烯	2.56	2.07	0.67	—	60	26.60	2-甲基萘	0.35	—	0.13	—
19	13.64	2,2,6-三甲基环己酮	0.74	—	0.31	—	61	26.88	吡咯	1.31	0.20	1.20	—
20	14.05	苯甲醇	3.97	5.56	3.23	15.0	62	27.14	十三烷	0.54	—	—	—
21	14.15	苯乙醛	—	—	0.41	—	63	27.40	反-2,2-二甲基-3-庚烯	0.73	—	—	—
22	14.27	1-乙基-1H 吡咯-2-甲醛	—	—	0.70	—	64	27.77	对己酸对硝基苯酯	0.59	—	—	—
23	14.92	反-2-十二烯醛	—	—	0.31	—	65	28.15	3,3-二甲基-1-己烯	0.34	—	—	—
24	15.05	γ -萜品烯	0.83	—	0.36	—	66	28.31	3,8-二甲基癸烷	0.95	—	—	—
25	15.64	反-2-辛烯-1-醇	—	—	1.35	—	67	28.72	2,6,11-三甲基十二烷	0.49	—	—	—
26	15.99	3,5-辛二烯-2-酮	—	—	0.79	—	68	29.05	4,6-二甲基十一烷	0.26	—	—	—
27	16.02	环辛二烯	—	—	0.41	—	69	29.05	异丁酸丁酯	—	0.09	—	—
28	16.63	萜品油烯	—	—	0.70	—	70	29.28	α -萜澄茄苦素	1.29	—	0.47	—
29	17.06	3,5-辛二烯-2-酮	—	—	0.31	—	71	29.51	1,2,3,4-四氢-1,1,6-三甲 基萘	0.36	—	—	—
30	17.15	乙二醇丁醚醋酸酯	0.83	—	0.36	—	72	30.23	长松叶烯	—	0.34	—	—
31	17.35	2,6-二甲基环己醇	1.80	—	1.35	—	73	30.24	3-甲基十三烷	0.22	—	—	—
32	17.56	芳樟醇	—	—	0.79	2.66	74	30.38	胡椒烯	0.70	—	0.18	—
33	17.58	α , α -4-三甲基环己甲醇	1.87	—	—	—	75	30.39	α -可巴烯	0.74	—	—	—
34	17.68	1-甲氧基-2-己烯	0.19	—	—	—	76	30.40	α -玷王巴烯	—	0.27	—	—
35	17.76	2,6-二甲基-环醇	0.41	—	—	3.49	77	30.73	雪松烯	—	0.66	—	—
36	17.95	苯乙基乙醇	0.37	—	—	—	78	30.77	(Z)-己酸-3-己烯酯	0.66	—	0.18	—
37	18.14	苯乙醇	—	1.63	—	8.29	79	31.14	β -榄香烯	1.88	0.28	—	—
38	18.26	巴豆酸烯丙酯	2.44	—	2.15	—							
39	19.32	1-乙基-吡咯	0.27	0.14	—	—							
40	19.33	苯乙腈	—	—	0.13	—							
41	20.69	乙酸苯甲酯	0.30	—	—	—							
42	20.88	5-甲基-2-(1-甲 乙 烯 基)-4- 己烯-1-醇	0.21	—	—	—							

续表 1													
峰号	保留时间/ min	香气成分	相对含量/%				峰号	保留时间/ min	香气成分	相对含量/%			
			直接吸附		泡后吸附					直接吸附		泡后吸附	
			1号	2号	1号	2号				1号	2号	1号	2号
80	31.43	N-乙酰-DL-苯丙氨酸	—	0.18	—	—	109	38.19	反-橙花叔醇	0.88	—	—	—
81	31.46	茉莉酮	1.57	—	1.90	0.49	110	38.41	3-甲基十五烷	0.25	—	—	—
82	31.53	十四烷	1.81	—	—	—	111	39.53	雪松醇	1.24	—	1.38	—
83	31.55	长松叶烯	—	0.55	—	—	112	40.00	四氢二聚环戊二烯	—	0.16	—	—
84	31.73	苯并咪唑	—	0.09	—	—	113	40.57	广藿香烯	—	—	—	0.07
85	31.91	α-柏木烯	4.47	1.35	0.60	2.06	114	40.99	2,6-双(1,1-二甲乙基)-4-氧酚	—	1.38	—	—
86	32.23	β-柏木烯	2.90	4.30	0.22	—	115	42.85	5,6,7-三甲氧基茛酮	—	1.24	—	—
87	32.67	松油烯	1.25	—	—	—	116	43.40	顺-均二苯乙烯	—	—	—	0.06
88	32.67	罗汉柏烯	—	0.41	0.38	0.52	117	43.44	2,6,10,14-四甲基十五烷	0.28	—	—	—
89	33.66	2,6-二叔丁基苯醌	—	2.24	—	—	118	43.23	十七烷	0.23	—	0.16	—
90	33.74	香叶基丙酮	0.76	—	—	—	119	43.44	丁脞	—	0.30	—	—
91	33.91	β-金合欢烯	0.59	—	—	—	120	45.64	(2-氯乙基)磷酸三酯	0.38	—	—	—
92	34.11	十六烷	0.95	0.16	—	—	121	46.75	十八烷	—	0.15	—	—
93	34.95	α-姜黄烯	0.82	—	—	—	122	47.32	3,5-二叔丁基-4-羟基苯乙酮	—	0.67	—	—
94	35.07	反-β-紫罗兰酮	2.93	0.28	0.38	1.49	123	48.07	金合欢基乙醛	—	—	0.36	—
95	35.24	1-表双环倍半水芹烯	0.22	—	—	—	124	48.52	咖啡因	5.78	0.24	0.78	0.05
96	35.38	萘类	0.32	—	—	—	125	49.07	邻苯二甲酸二异丁酯	—	0.08	0.42	—
97	35.47	三十烷	0.74	—	—	—	126	49.46	氮醚	—	8.51	—	—
98	35.64	α-衣兰油烯	0.26	—	—	—	127	50.28	十六烷基二甲基叔胺	—	1.66	—	—
99	35.66	十五烷	1.03	0.14	—	—	128	50.98	棕榈酸甲酯	—	—	0.13	—
100	35.81	花侧柏烯	0.66	—	—	—	129	54.12	棕榈酸异丙酯	—	0.16	—	—
101	35.99	甜没药烯	0.41	—	—	—	130	55.12	1-氢-菲-9,10-甲酰基咪唑-2-胺	—	0.13	—	—
102	36.17	2,6-二叔丁基对甲酚	—	—	0.33	—	131	55.88	二十四烷醇	—	0.09	—	—
103	36.53	去氢白菖烯	—	—	—	0.47	132	56.02	4-十八烷基-吗啡啉	—	2.37	—	—
104	36.55	4-异丙基-1,6-二甲基-四氢萘	2.3	0.16	—	—	133	56.77	植醇	0.23	—	—	—
105	36.71	二氢猕猴桃内酯	—	0.27	—	—	134	58.70	4,4-甲基乙基-甲酮-苯二酚	0.61	0.73	0.13	—
106	36.89	1,2,3,4,4a,7-六氢化-1,6-二甲基-4-(1-甲基)-萘	0.39	—	0.57	—	135	64.16	己二酸二辛酯	—	0.20	—	—
107	37.26	二十烷	—	0.15	0.47	—							
108	37.99	二十五烷	0.20	—	—	—							

由表 1 可知,在古丈毛尖茶中共鉴定出香气成分 135 种,其中直接吸附法检出 109 种,泡后吸附法检出 63 种。二者共同检出香气组分 37 种,分别为叶醇、甲氧苯酚、苯甲醛、2-氨基蒽、3,5,5-三甲基-2-己烯、右旋萜二烯、2,2,6-三甲基环己酮、苯甲醇、γ-萜品烯、乙二醇丁醚醋酸酯、2,6-二甲基环己醇、2,6-二甲基-环醇、苯乙醇、巴豆酸烯丙酯、异薄荷醇、α-松油醇、2,3-二氢-2,2,6-三甲基苯甲醛、β-环柠檬醛、橙花醇、乙酸冰片酯、2-甲基萘、吡嗪、α-葑澄茄苦素、胡椒烯、(Z)-己酸-3-己烯酯、茉莉酮、α-柏木烯、β-柏木烯、罗汉柏烯、反式β-紫罗兰酮、1,2,3,4,4a,7-六氢化-1,6-二甲基-4-(1 甲基)-萘、二十烷、雪松醇、十七烷、咖啡因、邻苯二甲酸二异丁酯、4,4-甲基乙基-甲酮-苯二酚。

2.2 两种方式预处理下古丈毛尖茶香气组成差异分析

如表 1、2 所示,两种不同方式预处理下古丈毛尖茶中香气组成具有一定相同之处或不同程度交叉,但也存在较大差异。通过比较发现,直接吸附法检出含量较高(即可能为古丈毛尖茶特征香气组分)的有:3,5,5-三甲基-2-己烯、蘑菇醇、右旋萜二烯、苯甲醇、巴豆酸烯丙酯、橙花醇、β-榄香烯、α-柏木烯、β-柏木烯、2,6-二叔丁基苯醌、反-β-紫罗兰酮、4-异丙基-1,6-二甲基-四氢萘、咖啡因、氮醚,占总香气组分的 31.37%;其单独检出:氮醚、蘑菇醇、4-异丙基-1,6-二甲基-四氢萘、4-十八烷基-吗啡啉、2,6-二叔丁基苯醌、β-榄香烯、3(2-乙基丁酸)-1,2,3-甘油三酯、α,α-4-三甲基环己甲醇、十四烷、十六烷基二甲基叔胺、甲基庚烯酮、2,6-双(1,1-二甲乙

表 2 两种预处理方式下古丈毛尖茶中香气组分对比表

Table 2 Aroma constituents comparison of Guzhang Maojian Tea under two different pretreatment

香气组成	直接吸附萃取 (种数及相对含量)	泡后吸附萃取 (种数及相对含量)
烷烃	25 种(17.50%)	4 种(3.16%)
醇类	17 种(45.77%)	14 种(120.23%)
醛类	4 种(4.83%)	12 种(24.09%)
酯类	13 种(7.88%)	5 种(2.68%)
酮类	9 种(19.76%)	8 种(14.58%)
烯类	26 种(52.99%)	12 种(14.36%)
酚类	2 种(5.66%)	2 种(1.09%)
醚类	1 种(20.08%)	0
酸类	2 种(5.61%)	0
含氮化合物	6 种(4.51%)	4 种(16.74%)
其他类	4 种(15.41%)	2 种(3.05%)
总合	109 种(200%)	63 种(200%)

基)-4-氧酚、松油烯、5,6,7-三甲氧基茚酮、2-甲基癸烷、十五烷、十六烷、2-戊基呋喃等香气组分 72 种。泡后吸附法检出含量较高(即可能为古丈毛尖茶特征香气)的有:叶醇、甲氧基苯肼、苯甲醛、1-辛烯-3-醇、苯甲醇、芳樟醇、2,6-二甲基-环醇、苯乙醇、巴豆酸烯丙酯、茉莉酮、 α -柏木烯,占总香气组分的 33.7%;其单独检出:1-辛烯-3-醇、苯乙基乙醇、香叶醇、正癸醛、6-甲基-5-庚烯-2 酮、1-乙基-1H-吡咯-2 甲醛等香气组分 26 种。

综上可知,预处理方式对茶叶香气组分的固相微萃取吸附、富集效果影响较大,其中直接吸附法所检出香气成分种类较多(含有烯、烷、醇、酯、醛、酸、醚、酮等),且比例均衡,泡后吸附法检出香气成分种类大幅减少(仅含有烯、酯、酮、酸、烷烃等),这刚好与干茶叶香气较为醇厚而经沸水冲泡后茶叶(水)香气相对单调相吻合。推测其原因可能为:部分挥发性香气组分溶解于水中或介质水具有一定的缓冲能力来抑制部分低含量香气物质的释放。泡后吸附法所检出醇、醛等类香气组分相对含量增多,而烯、烷烃等类香气组分相对含量降低的原因则可能为:烯、烷类等物质在热水的作用下反应生成醇、醛类化合物或经沸水浸泡茶叶更利于醇、醛类物质的形成或释放。

茶叶(特征)香气的形成是多种香气组分共同作用的结果,而非某一种或一类物质所独自形成,其中苯甲醛、巴豆酸烯丙酯、 α -柏木烯等可能为古丈茶的主要特征香气组分或对其特征香气的形成贡献较大。同时采用两种不同方式预处理来分析茶叶中香气组分,能更为全面和科学地反映出茶叶固有的香气组分。

3 结论

从古丈毛尖茶中共检出香气组分 135 种,分别为烯类 29

种、烃类 23 种、醇类 21 种、酮类 15 种、酯类 14 种、醛类 13 种、含氮类 8 种、酸类 3 种、酚类 3 种、醚类 1 种杂环及其他物质 5 种,其中苯甲醛、巴豆酸烯丙酯、 α -柏木烯等可能为其主要特征香气组分。

直接吸附法检出香气组分种类(109 种)明显多于泡后吸附法(63 种),二者共同检出香气组分 37 种;分别单独检出香气组分 72 种和 26 种。说明两种不同方式预处理作用下固相微萃取对茶叶香气的吸附、富集效果差异较大,同时运用互为补充的两种预处理方法,能更好地反映古丈毛尖茶的香气本质特性。

参考文献

1 尤兰. 古丈毛尖分外香[J]. 食品安全导刊,2014(4):67.

2 杨明容,马燕,杨四润,等. 气质联用分析云南老树茶香气成分[J]. 中国农学通报,2012,28(24):261~269.

3 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.

4 刘拉平,史亚歌,张瑞明,等. 午子绿茶香气物质固相微萃取 GC—MS 分析[J]. 西北植物学报,2007,27(2):371~376.

5 吕世懂,姜东华,杨凡,等. 顶空固相微萃取/GC—MS 分析普洱熟茶与安化黑茶香气成分[J]. 热带作物学报,2013,34(8):1583~1591.

6 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.

7 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—质谱法分析青山绿水茶叶的挥发性成分[J]. 色谱,2008,26(3):301~305.

8 代毅,须海荣. 采用 SPME—GC/MS 联用技术对龙井茶香气成分的测定分析[J]. 茶叶,2008,34(2):85~88.

9 赖毅东,宁正祥. 固相微萃取技术及其在食品挥发性物质分析中的应用[J]. 食品与机械,2002(5):36~38.

10 兰欣,汪东风,张莉,等. HS—SPME 法结合 GC—MS 分析崂山绿茶的香气成分[J]. 食品与机械,2012,28(5):96~101.

11 李明,曾茜,孙培冬,等. HS—SPME/GC—MS 分析无锡绿茶的香气成分[J]. 食品与机械,2015,31(3):32~36.

12 苏新国,蒋跃明,汪晓红,等. 固相微萃取法分析凤凰单枞乌龙茶香气组分[J]. 食品科学,2005,26(11):213~216.

13 孔维婷,刘建军,司辉清. 固相微萃取与气相色谱—质谱联用分析信阳毛尖香气成分[J]. 食品科学,2012,33(12):185~189.

14 颜鸿飞,王美玲,白秀芝,等. 湖南茯砖茶香气成分的 SPME—GC—TOF—MS 分析[J]. 食品科学,2014,35(22):176~180.

15 Pontes M, Marques J C, Camara J S. Screening of volatile composition from Portuguese multifloral honeys using headspace solid-phase microextraction-gas chromatography-quadrupole mass spectrometry [J]. Talanta,2007,74(1):91~103.

16 邓静,王远兴,毛雪金,等. 固相微萃取(SPME)在茶叶香气分析中的应用[J]. 食品工业科技,2014,35(2):346~353.