

广东单丛茶树品种红茶香气成分的GC-MS分析

王秋霜, 乔小燕, 操君喜, 方华春, 陈 栋*

(广东省农业科学院饮用植物研究所(茶叶研究中心), 广东省茶树资源创新利用重点实验室, 广东 广州 510640)

摘 要: 单丛茶树品种是制作单丛乌龙茶的主要品种, 研究发现其也可用于制作红茶。为明确所制红茶香气物质及主要呈香特征, 采用顶空固相微萃取结合气相色谱-质谱联用技术鉴定香气物质种类及其对总体香气的贡献。结果表明, 本研究从广东单丛品种红茶中鉴定出46种香气化合物, 主要包括醇类、醛类、酯类、酮类、烯类和烷烃类等, 其中醇类是最主要的物质, 其次是酯类和醛类。香气化合物中芳樟醇、橙花醇、水杨酸甲酯、氧化芳樟醇和壬醛是5种最主要的呈香物质, 含量占香气总量的60%以上。花蜜香是广东单丛茶树红茶典型的香气特征。

关键词: 广东单丛; 香气; 顶空固相微萃取法; 气相色谱-质谱法

Analysis of Flavor Components in Black Tea Made from Guangdong Dancong Tea Variety by GC-MS

WANG Qiushuang, QIAO Xiaoyan, CAO Junxi, FANG Huachun, CHEN Dong*

(Guangdong Key Laboratory of Tea Plant Resources Innovation and Utilization, Drinkable Plant Research Institute (Tea Research Center), Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Guangzhou 510640, China)

Abstract: Dancong tea variety is the major variety of Dancong oolong tea production and research found it could also be used to produce black tea. In order to confirm the aroma compounds and the main characters of these black teas, headspace solid-phase micro-extraction (HS-SPME) and gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) were used to determine the volatile aroma compounds and their contributions to the total aroma. The results showed that 46 aroma compounds including alcohols, aldehydes, esters, ketones, terpenes and hydrocarbons were identified, among which the alcohols were the most important compounds, followed by aldehydes and esters. Linalool, nerol, methyl salicylate, linalool oxide and nonanal were the five most important compounds, representing more than 60% of the total aroma. Floral and honey aroma were the major aroma character of black tea from Guangdong Dancong tea variety.

Key words: Guangdong Dancong; aroma; headspace solid phase microextraction (HS-SPME); gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS)

中图分类号: S571.1; Q815

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630(2015)04-0114-05

doi:10.7506/spkx1002-6630-201504022

单丛茶树品种原产广东省潮安县凤凰山, 相传在南宋时期已有栽培。现在主要分布在广东潮安、丰顺、饶平、蕉岭等地。单丛茶树品种一直被公认为是制作乌龙茶的良好品种, 深受国内外广大消费者喜爱^[1]。为拓宽单丛茶树品种的加工领域并解决现有红茶花香不足的问题, 研究团队选用不同类型的单丛茶树品种开展了红茶试制性研究, 发现单丛茶树品种同样适用于制作红茶, 且具有独特的花果香、蜜香, 受到大众的追捧。

茶叶香气如花香、果香、木香、清香等是茶叶感官品质的重要指标, 更是茶叶市场价值的一个重要参数和引导^[2-4]。茶叶感官审评所体现的香气特征是各种香气成分在浓度、香型及其阈值等因素共同作用的结果^[5]。目前, 茶叶香气的提取方法包括同时蒸馏萃取

(simultaneous distillation extraction, SDE)法、顶空固相微萃取(headspace solid phase microextraction, HS-SPME)法、超流体萃取法等^[4]。HS-SPME因具有操作简单、环保、无需浓缩、灵敏等优势而被广泛采用^[4]。

目前, 对单丛茶树的研究主要集中在乌龙茶品种筛选、资源保护、分子标记、品质分析等方面^[6-12], 然而对利用单丛茶树品种制成的红茶的香气成分研究还未见相关报道。在试制红茶过程中, 感官审评发现单丛红茶的香气特征和呈香类型独特。因此, 本研究采用HS-SPME提取单丛红茶的香气物质, 应用气相色谱-质谱(gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS)鉴定其组成成分, 以期为乌龙红茶品种筛选和加工工艺的改进以及产品标准制定等提供科学依据。

收稿日期: 2014-04-30

基金项目: 国家现代农业产业技术体系建设专项(CARS-23); 2011年度国家星火计划项目(2011GA780012);

2012年度广东省科技计划项目(2012B040301042); 2014年度英德市科技计划项目(英经信字[2014]65号)

作者简介: 王秋霜(1978—), 女, 助理研究员, 博士, 研究方向为茶叶品质安全与深加工。E-mail: wqsh1113@163.com

*通信作者: 陈栋(1961—), 男, 研究员, 博士, 研究方向为茶树育种。E-mail: chendong1113@sohu.com

1 材料与方法

1.1 材料

茶叶原料采自广东省内, 2010年5月采摘后按照红茶加工流程制作, 即茶树鲜叶→萎凋→揉捻→发酵→干燥→成品茶。以英红金毛毫、祁红和乌瓦红茶为对照, 茶叶嫩度为1芽1~2叶初展。具体见表1。

表1 实验茶叶样品
Table 1 Tea samples investigated in this study

编号	名称	品种/系	地点
1	天韵工夫	芝兰香单丛品系	广东潮州
2	荔蜜工夫	岭头单丛	广东潮州
3	杏仁工夫	杏仁香单丛品系	广东潮州
4	乌叶工夫	乌叶单丛茶	广东潮州
5	水仙工夫	凤凰水仙群体	广东潮州
CK1	英红金毛毫	英红九号	广东英德
CK2	特级祁红	祁门橘叶种	安徽祁门
CK3	乌瓦红茶	斯里兰卡大叶	斯里兰卡

1.2 仪器与设备

TRACE DSQ气相色谱-质谱联用仪(配有电喷雾离子源及Xcalibur 1.2数据处理系统) 美国Finnigan公司; SPME萃取柄(配有二乙基苯/碳分子筛/聚二甲基硅氧烷(divinylbenzene/carboxen/polydimethylsiloxane, DVB/CAR/PDMS) 50/30 μm 萃取头) 美国Supleco公司。

1.3 方法

1.3.1 茶叶样品前处理条件

将茶叶粉碎、过筛后备用。取10.0 g上述茶粉置于500 mL萃取瓶中, 加入100 mL沸水, 50 $^{\circ}\text{C}$ 水浴加热萃取, 让容器内的香气物质平衡5 min。然后插入萃取头吸附80 min, 结束后进行GC-MS分析^[13]。

1.3.2 色谱条件

色谱柱: HP-5MS弹性石英毛细柱(30 m $\times$ 0.25 mm, 0.25 μm); 进样口温度230 $^{\circ}\text{C}$; 升温程序参考叶国注等^[2]方法; 载气He(纯度>99.999%); 流速1 mL/min; 不分流; 进样后于230 $^{\circ}\text{C}$ 条件下解吸5 min。

1.3.3 质谱条件

电子电离源; 电子能量70 eV; 传输线温度275 $^{\circ}\text{C}$; 离子源温度230 $^{\circ}\text{C}$; 质量扫描范围50~650 u; 电子倍增管电压1 800 V; 总离子流强度10 mA。

1.3.4 感官审评

按照NY/T 787—2004《茶叶感官审评通用方法》^[14]对红茶样品进行香气审评。

1.3.5 定性定量

根据Xcalibur工作站NIST标准质谱库及其各物质的相对保留指数和保留时间、结合文献描述对目标物质进行检索, 香气组分的含量以占总香气物质的百分比计^[15]。实验重复3次, 数据取平均值。

2 结果与分析

2.1 单丛茶树品种红茶感官香气特征

表2 单丛品种红茶的香气特征
Table 2 Aroma characters of Dancong variety black tea

名称	香气特征
天韵工夫	玫瑰香带糖甜香细锐持久
荔蜜工夫	荔枝果蜜香清长持久, 显花香
杏仁工夫	果蜜香带杏仁香清长持久, 显花香
乌叶工夫	蜜香带花香清长, 微花香
水仙工夫	蜜香带花香清长
CK1	蔗糖香带花毫香清长
CK2	糖甜香带玫瑰花香清长
CK3	香气高锐持久, 有微甜香, 但花蜜香不显

由表2可知, 单丛茶树品种红茶均具有花香, 但是体现出不同的香型, 有的带玫瑰香(天韵工夫), 有的显蜜香(荔蜜工夫、乌叶工夫、水仙工夫等), 对照样品英红金毛毫则带有毫香, 乌瓦红茶香气高锐、不显花蜜香。

红茶香气的典型特征一般包括花香型、蜜香型、果香、甜香等, 例如国内外知名的祁门红茶则体现出红茶具有浓郁的玫瑰花香, 被命名为“祁门香”^[5]。因含有香叶醇(橙花醇)、芳樟醇、苯甲醇、2-苯乙醇等多种花香型成分, 最终这些物质共同形成祁红的香气特征^[5]。本研究中CK2检测出的香气物质也包括: 芳樟醇和橙花醇, 与文献结论有共同之处, 但是未检测出苯甲醇和苯乙醇, 原因可能是样品差异、不同提取方法、不同分析方法所致。

2.2 单丛品种红茶的香气物质类型总量与及相对含量分析

单丛品种红茶(天韵工夫)的总离子流色谱图见图1, 所有样品香气组分的定性定量结果如表3所示。经NIST标准谱库结合文献^[16-17]共鉴定出46种水溶性挥发性芳香族化合物, 醇类为主要的香气物质, 其次是醛类, 再次是酯类。醇类物质是单丛茶树品种红茶主要香气物质, 平均相对含量占总香气的56.85%、醛类相对含量占12.73%、酯类相对含量占9.58%、酮类相对含量占6.76%、烷烃类相对含量占1.02%、烯类物质相对含量占0.81%。样品中各类香气物质相对含量如图2所示。

单丛茶树品种红茶中鉴定了8种醇类化合物, 主要包括芳樟醇、橙花醇、氧化芳樟醇、 α -蒎品醇等, 相对含量在37.49%~68.45%, 与对照祁红中醇类物质相对含量差异不大。研究^[5]表明, 祁门红茶香气物质中也含有香叶醇(橙花醇)、芳樟醇, 与本研究的结果基本一致。其中天韵工夫和水仙工夫醇类物质相对含量更高(图2), 显著高于对照乌瓦红茶($P<0.05$)。醇类物质的呈香特征为花果香、甜香等^[3], 说明单丛品种红茶具有这

样的香气特性。醇类物质在普洱茶、绿茶、红茶中都有检出，而且相对含量也很高^[18-20]。

检出的醛类物质种类是最多的，共13种，主要包括壬醛、环柠檬醛、己醛、2-己烯醛、3-己烯醛、2-癸

烯醛、苯甲醛、苯乙醛等。醛类物质平均相对含量均高于对照样品，其中杏仁工夫和荔蜜工夫相对含量远超过其他单丛品种红茶。脂肪族的醛类是氨基酸或脂肪酸氧化降解的产物^[21]。尽管有些醛类物质相对含量

表3 单丛茶树品种红茶香气物质及相对含量
Table 3 Aroma composition and relative content in Dancong tea variety black tea

序号	保留 时间/min	香气物质	组别								%
			1	2	3	4	5	CK1	CK2	CK3	
1	4.90	己醛 hexaldehyde	0.18	0.56	0.74	0.71	0.44	0.13	0.24	0.03	
2	6.80	2-己烯醛 2-hexenal	0.22	1.51	0.80	0.56	2.13	0.95	0.57	0.29	
3	7.24	3-己烯醛 3-hexenal	0.23	1.18	0.69	0.30	1.24	0.68	0.36	0.31	
4	7.41	2-己烯-1-醇 2-hexene, 1-ol	0.34	2.75	1.40	0.72	2.08	0.72	0.55	0.27	
5	12.19	苯甲醛 benzaldehyde	1.94	3.97	8.19	1.38	1.59	0.66	4.17	0.31	
6	15.40	2,4-庚二烯醛 2,4-heptadienal	0.49	1.89	1.34	0.66	0.06	0.37	0.03	0.19	
7	16.87	2,6,6-三甲基环己烷酮 2,6,6-trimethyl cyclohexane	0.44	6.21	6.26	2.00	4.39	—	3.89	0.61	
8	17.50	苯乙醛 benzeneacetaldehyde	0.62	4.00	3.48	1.90	—	0.23	2.20	0.81	
9	19.43	氧化芳樟醇 linalool oxide	2.91	12.06	4.92	8.66	3.75	1.14	3.63	1.02	
10	21.88	芳樟醇 linalool	24.34	28.14	20.89	43.91	43.05	82.08	19.85	12.92	
11	21.99	壬醛 nonanal	3.52	4.67	2.24	7.53	3.53	0.54	2.79	1.13	
12	25.76	乙酸苯甲酯 acetic acid benzyl este	0.34	1.05	0.76	1.11	—	0.18	0.29	—	
13	26.83	萘 naphthalene	0.18	0.60	1.57	0.43	—	0.10	0.02	—	
14	27.73	水杨酸甲酯 methyl salicylate	12.90	5.42	8.86	6.32	7.34	6.56	15.26	76.42	
15	28.02	α -萜品醇 α -terpineol	0.91	0.87	1.51	1.41	0.35	0.68	0.29	—	
16	28.16	藏红花醛 safranal	0.28	1.21	2.88	0.41	0.44	0.18	0.24	—	
17	29.04	癸醛 decanal	0.34	0.81	0.64	0.68	0.46	0.23	0.33	—	
18	29.55	环柠檬醛 isocyclocitral	0.51	2.88	4.17	2.07	1.17	0.33	0.01	0.64	
19	30.72	Z-3-甲基丁酸-3-己烯酯 cis-3-hexenyl isovalerate	—	—	—	—	0.52	0.40	1.39	0.30	
20	31.08	香叶醛 leaf aldehyde	4.21	0.59	0.51	0.24	0.89	0.16	0.27	—	
21	32.42	橙花醇 neroli	39.63	8.21	8.19	3.66	17.11	0.95	34.03	0.45	
22	32.89	2-苯基-2-丁烯醛 2-phenyl-2-butenal	—	0.20	0.48	0.12	—	—	1.09	0.09	
23	34.91	薄荷醇 menthol	0.13	—	0.10	0.22	—	—	—	0.12	
24	36.77	甲酸香叶酯 geranylformate	0.37	—	—	—	0.11	0.12	0.15	—	
25	39.53	2-十一烯醛 2-undecenal	—	0.16	0.49	0.25	—	—	0.01	—	
26	40.24	β -达马烯酮 β -dama ketene	0.15	0.35	0.65	0.28	—	—	0.09	0.11	
27	40.52	乙酸香叶酯 geranyl acetate	0.54	—	0.14	—	0.35	0.25	0.22	—	
28	40.66	己酸-顺-3-己烯酯 hexanoic acid,3-hexenyl ester, (Z)-	—	—	—	—	0.42	—	0.40	0.31	
29	40.91	己酸己酯 hexyl hexanoate	—	0.20	0.64	0.21	0.32	—	0.21	0.06	
30	41.27	己酸-2-己烯酯 hexanoic acid,2-hexenyl ester	—	—	—	—	0.16	—	0.24	0.18	
31	41.51	1,6-二甲基萘 naphthalene,1,6-methyl-	—	—	0.12	—	0.25	0.03	0.09	—	
32	34.50	1-甲基萘 naphthalene, 1-methyl-	—	0.16	0.33	—	—	0.10	0.01	—	
33	42.05	十四烷 tetradecane	0.14	0.58	0.49	0.19	1.87	0.28	0.10	0.24	
34	42.26	雪松烯 cedrene	—	—	0.56	—	—	—	0.66	—	
35	42.49	顺-丁香烯 Z-caryophyllene	0.17	0.72	1.16	1.05	—	0.11	0.15	—	
36	42.97	α -紫罗酮 α -ionone	0.11	0.31	0.80	0.33	0.24	0.07	0.06	0.13	
37	44.78	6,10-二甲基-5,9-正十一碳二烯酮 5,9-undecadien-2-one,6,10-dimethyl-	0.32	0.93	1.21	0.97	0.36	0.10	0.14	0.23	
38	46.00	δ -杜松烯 δ -cadinene	0.32	0.49	0.29	0.19	0.31	0.07	0.53	—	
39	46.46	β -紫罗酮 β -ionone	0.60	1.77	3.33	0.95	0.85	0.25	0.24	0.69	
40	46.98	β -荜澄茄烯 β -cubenen	—	—	—	—	—	—	0.67	—	
41	48.02	α -法尼烯 α -farnesene	0.12	0.11	0.27	0.11	0.20	—	0.09	0.10	
42	51.57	顺-橙花叔醇 nerolidol	0.19	0.40	0.37	0.40	0.44	0.23	0.17	0.17	
43	53.83	柏木醇 cedrol	—	—	0.11	—	0.13	—	0.47	—	
44	54.11	十六烷 hexadecane	0.13	0.46	0.28	0.19	0.75	0.08	0.43	0.11	
45	55.09	荜澄茄油醇 cubenol	—	—	—	—	—	—	1.16	—	
46	57.02	十六烯 hexadecene	—	0.20	0.18	—	—	—	0.02	—	
合计			97.82	95.62	92.04	90.12	97.30	98.96	97.81	98.24	

注：—未检出。

很低, 但因其较低的香气阈值, 仍然是一类重要的挥发性香气化合物^[22]。

酯类物质主要检出了水杨酸甲酯、乙酸苯甲酯、甲酸香叶酯、乙酸香叶酯、己酸己酯、己酸-顺-3-己烯酯等。单丛品种红茶平均相对含量9.58% (荔蜜工夫相对含量最低, 天韵工夫相对含量最高), 对照乌瓦红茶酯类物质相对含量最高 (达77%以上)。酯类物质是一类重要的茶叶香气物质, 在红茶中检出的比较多^[3,23]。

研究中鉴定了包括 β -紫罗酮、2,6,6-三甲基环己烷酮、6,10-二甲基-5,9-正十一碳二烯酮、 β -达马烯酮、 α -紫罗酮等酮类物质。整体来看, 荔蜜工夫和杏仁工夫酮类物质相对含量最高, 显著高于其他样品和对照 ($P<0.05$)。单丛品种红茶中的烯类物质主要有 δ -杜松烯、 α -法尼烯等, 总体相对含量比较低, 在对整体香气特征的贡献上作用不大。

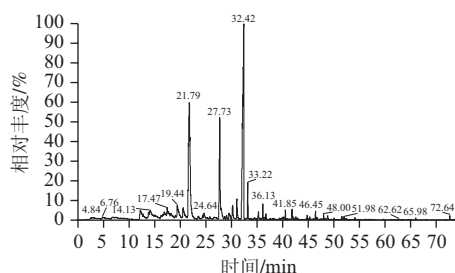


图1 天韵工夫红茶香气的总离子流图

Fig.1 Total ion chromatogram of aroma compounds in Tianyun Gongfu black tea

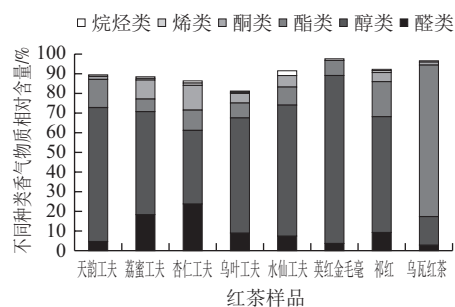


图2 单丛品种红茶香气物质种类及相对含量

Fig.2 Chemical classes and relative contents of aroma compounds in Dancong variety black tea

2.3 单丛品种红茶的主要呈香组分及其比例

单丛品种红茶香气主要成分如图3所示。相对含量居前7位的香气化合物依次为芳樟醇、橙花醇、水杨酸甲酯、氧化芳樟醇、壬醛、苯甲醛、环柠檬醛 (按平均相对含量计), 前5种是最重要的香气物质。这些化合物占香气总量的60%以上。

研究^[24-25]表明, 在红茶香气物质中芳樟醇、橙花醇和氧化芳樟醇占有重要位置, 与本研究结论一致。水仙工夫中芳樟醇相对含量占总香气的33.93%, 远高于CK2

和CK3, 其中乌叶工夫相对含量最高。对照金毛毫红茶样品中芳樟醇相对含量达80%以上, 远高于其他红茶样品。芳樟醇是花香、木果香气的重要体现和主要物质基础^[3,23], 具有极低的香气阈值^[13,23], 因此其呈现出的花果香是单丛品种红茶典型的香气特征。此外, 橙花醇也是红茶香气特征的重要贡献者^[23,26] (平均相对含量13.36%), 其中天韵工夫橙花醇相对含量极显著高于其他单丛红茶样品, 与对照祁红差异不显著; CK1和CK3相对含量则很低。橙花醇是甜香和糖香的物质基础^[3], 是单丛品种红茶香气的重要特色之一。氧化芳樟醇在单丛品种系列红茶中相对含量显著高于对照样品, 是花香的体现。

水杨酸甲酯是一种重要的酯类物质, 有一定的冬青叶芳香^[3], 本研究中相对含量达到8.17%。天韵工夫样品中相对含量最高; 对照乌瓦红茶中含有76%以上的水杨酸甲酯, 表现出较浓的芳香油气息; 壬醛是醛类物质中相对含量最高的化合物, 平均占总香气的4.30%左右, 是玫瑰香气特征的重要体现^[3]。单丛品种红茶远高于对照。壬醛的高相对含量极好地解释了广东单丛品种系列红茶的玫瑰香气特征。苯甲醛和环柠檬醛分别体现为苦杏仁味和清香^[13,15]。杏仁工夫中苯甲醛相对含量最多, 是杏仁香的主要呈香物质。研究表明, 苯甲醛在杏仁类物质中检出最多^[27-28]。

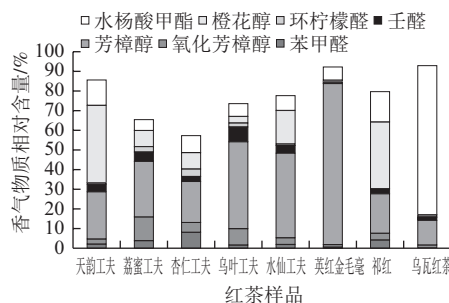


图3 单丛品种红茶香气主要成分及相对含量

Fig.3 The major aroma compounds and relative contents in Dancong variety black tea

2.4 单丛品种红茶香型分析

将分别体现为花香、甜香、清香等特征的香气物质及相对含量进行汇总, 如图4所示。总体上来说, 花香是单丛品种红茶主要的香气类型。花香型物质主要包括芳樟醇及其氧化物、橙花醇、壬醛等单丛品种红茶中含有相对含量较高的花香型香气物质, 显著高于对照样品乌瓦红茶。对照英红金毛毫和祁红中因含有相对含量较高的花香型物质, 因此也是花香型红茶; 荔蜜工夫、杏仁工夫花香型物质相对含量与对照小叶种祁红相当。

此外, 水仙工夫、杏仁工夫、乌叶工夫、荔蜜工夫与祁红含有相对较高比例的甜糖香物质, 所以呈现出较浓郁的蜜香、糖香。天韵工夫与英红金毛毫花香最浓, 只是香

型不同,前者呈现出玫瑰香(壬醛),后者为花毫香(芳樟醇)。乌瓦红茶香气最锐是因为含有高浓度的水杨酸甲酯(浓郁、刺激性的香精油气息)。而在国内红茶样品中,芳香油物质的相对含量也普遍低于乌瓦红茶^[3]。图4的结果与感官审评的结果一致。

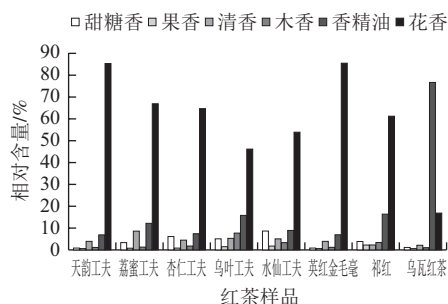


图4 单丛品种红茶香气类型及相对含量

Fig.4 Aroma types and relative contents in Dancong variety black tea

3 结论

采用HS-SPME技术、结合GC-MS测定,经质谱库检索鉴定了广东单丛品种红茶中的46种挥发性香气物质,并确定了相对含量。结果表明单丛品种红茶中挥发性香气物质主要包含醇类、醛类、酯类、酮类、烯类和烷烃类等,其中醇类是最主要的物质,其次是酯类和醛类。香气化合物中芳樟醇、橙花醇、水杨酸甲酯、氧化芳樟醇和壬醛是5种最主要的呈香物质,占香气总量的60%以上。感官审评发现,花蜜香是广东单丛品种红茶典型的香气特征,与GC-MS分析得到的结论一致。

参考文献:

- [1] 陈荣冰, 姚信恩. 广东乌龙茶品种: 凤凰水仙系列品种名丛简介[J]. 中国茶叶, 2002, 24(3): 15.
- [2] 叶国注, 江用文, 尹军峰, 等. 绿茶香气HS-SPME提取方法研究[J]. 中国茶叶, 2009, 31(10): 16-19.
- [3] 王秋霜, 陈栋, 许勇泉, 等. 中国名优红茶香气成分的比较研究[J]. 中国食品学报, 2013, 13(1): 195-200.
- [4] YANG Ziyin, BALDERMANN S, WATANABE N. Recent studies of the volatile compounds in tea[J]. Food Research International, 2013, 53(2): 585-599.
- [5] 王华夫, 竹尾忠一, 伊奈和夫, 等. 祁门红茶的香气特征[J]. 茶叶科学, 1993, 13(1): 61-68.
- [6] 陈少平, 吴振华, 邱瑞陶. 高香优质茶树良种凤凰八仙单丛的选育及应用[J]. 广东茶业, 2008(2): 2-8.
- [7] 晏嫦好. 凤凰单丛古茶树资源遗传多样性AFLP分析及保护研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2007: 3-15.
- [8] 晏嫦好, 罗军武, 赵超艺, 等. 凤凰单丛主要品质成分比较[J]. 湖南农业大学学报, 2006, 30(6): 628-631.
- [9] 陈文品, 黄鹏, 扬程景, 等. 广东凤凰水仙与福建武夷水仙乌龙茶比较研究[J]. 广东茶业, 2012(5): 20-22.
- [10] 唐颖, 赵超艺, 吴家尧, 等. 凤凰单丛茶产业发展及研究利用现状[J]. 广东茶业, 2009(6): 20-23.
- [11] 沈程文, 黄意欢, 黄建安. SRAP标记体系优化及在茶树种质资源研究中的应用[J]. 经济林研究, 2009, 27(3): 1-6.
- [12] 廖冬晴, 梁广文, 岑伊静, 等. 凤凰单丛有机茶园有害生物生态控制研究[J]. 广西职业技术学院学报, 2008(2): 6-10.
- [13] LÜ Haipeng, ZHONG Qiusheng, LIN Zhi, et al. Aroma characterisation of pu-erh tea using headspace-solid phase microextraction combined with GC/MS and GC-olfactometry[J]. Food Chemistry, 2012, 130(4): 1074-1081.
- [14] 鲁成银, 段家祥, 龚淑英, 等. NY/T 787—2004 茶叶感官审评通用方法[S]. 北京: 中国农业出版社, 2004.
- [15] DU Liping, LI Jianxun, LI Wei, et al. Characterization of volatile compounds of pu-erh tea using solid-phase microextraction and simultaneous distillation-extraction coupled with gas chromatography-mass spectrometry[J]. Food Research International, 2014, 57: 61-70.
- [16] RAVICHANDRAN R, PARTHIBAN R. The impact of processing techniques on tea volatiles[J]. Food Chemistry, 1998, 62(3): 347-353.
- [17] RAVICHANDRAN R, PARTHIBAN R. Carotenoid composition, distribution and degradation to flavor volatiles during black tea manufacture and the effect of carotenoid supplementation on tea quality and aroma[J]. Food Chemistry, 2002, 78(1): 23-28.
- [18] KATO M, SHIBAMOTO T. Variation of major volatile constituents in various green teas from Southeast Asia[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2001, 49(3): 1394-1396.
- [19] TONTUL I, TORUN M, DINCER C, et al. Comparative study on volatile compounds in Turkish green tea powder: impact of tea clone, shading level and shooting period[J]. Food Research International, 2013, 53(10): 744-750.
- [20] WANG Lifei, LEE J Y, CHUNG J O, et al. Discrimination of teas with different degrees of fermentation by SPME-GC analysis of the characteristic volatile flavour compounds[J]. Food Chemistry, 2008, 109(1): 196-206.
- [21] RIZZO W B. Fatty aldehyde and fatty alcohol metabolism: review and importance for epidermal structure and function[J]. Biochimica et Biophysica Acta-Molecular and Cell Biology of Lipids, 2014, 1841(3): 377-389.
- [22] 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]. Microchemical Journal, 2009, 93(2): 232-235.
- [23] RAWAT R, GULATI A, BABU G D K, et al. Analytical, nutritional and clinical methods characterization of volatile components of Kangra orthodox black tea by gas chromatography-mass spectrometry[J]. Food Chemistry, 2007, 105: 229-235.
- [24] 李家贤, 何玉媚, 黄华林, 等. 云大淡绿红碎茶香气化合物组成研究[J]. 广东农业科学, 2008(7): 102-103.
- [25] 李家贤, 何玉媚, 黄华林, 等. 英红6号红茶香气成分的研究[J]. 广东农业科学, 2009(12): 37-38.
- [26] YAO Shanshan, GUO Wenfei, LÜ Yi, et al. Flavor characteristics of lapsang souchong and smoked lapsang souchong, a special Chinese black tea with pine smoking process[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2005, 53(22): 8688-8693.
- [27] LÜ Xiao, LEE J, ZHANG Gong, et al. HS-SPME GC/MS characterization of volatiles in raw and dry-roasted almond (*Prunus dulcis*) [J]. Food Chemistry, 2014, 151(15): 31-39.
- [28] 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.