

不同发酵度茶叶的主要理化及香气成分分析

胡爱华, 敖晓琳*, 蒲彪, 陈安均, 陈岑, 张国丽

(四川农业大学 食品学院, 四川 雅安 625014)

摘要: 比较不同发酵度茶叶的理化及香气成分。测定绿茶、乌龙茶、红茶和藏茶的常规成分、活性成分;采用顶空固相微萃取(headspace solidphase micro-extraction, HS-SPME)结合气相色谱-质谱联用(gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS)分析香气成分。4种茶样水分、灰分质量分数差异较小,绿茶水浸出物和蛋白质质量分数高于乌龙茶、红茶和藏茶,而粗纤维质量分数最低;红茶和藏茶中茶多酚和儿茶素的质量分数明显低于绿茶和乌龙茶,咖啡碱的质量分数稍高于绿茶和乌龙茶;绿茶中主要香气是醇类和烯烃类,红茶主要香气成分是酮类、醇类、酯类、醛类,藏茶中主要香气成分是酮类和酯类,乌龙茶中各香气成分检出量不多,分布相对平衡。

关键词: 茶叶;常规成分;活性成分;香气成分

中图分类号: TS 272.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673—1689(2017)12—1283—07

Analysis of Main Physicochemistry and Aroma Components in Different Fermentation Degree of Tea

HU Aihua, AO Xiaolin*, PU Biao, CHEN Anjun, CHEN Cen, ZHANG Guoli

(College of Food Science, Sichuan Agricultural University, Ya'an 625014, China)

Abstract: To compare the main physicochemistry and aroma components in different fermentation degree of tea. The regular ingredients and active ingredients of green tea, Oolong tea, black tea and Tibet tea were determined; the aroma components were analyzed by headspace solid phase micro-extraction and gas chromatography-mass spectrometry. The moisture and ash content of four kinds of tea were almost similar, water-soluble matters and protein content of green tea were higher than those of Oolong tea, black tea and Tibet tea, on the other side, the crude fiber content is the lowest; the tea polyphenols and catechins contents of black tea and Tibet tea were lower obviously than those of green tea and Oolong tea, while caffeine content was slightly higher than green tea and Oolong tea; alcohols and olefins were the main aroma components of green tea, the main aroma components of black tea were ketones, alcohols, esters, aldehydes, and the main aroma components of Tibet tea were ketones and esters, the aroma components content of Oolong tea not detected much and distributed balance relatively.

Keywords: tea, regular ingredients, active ingredients, aroma components

收稿日期: 2015-08-22

基金项目: 国家“十二五”科技支撑计划项目(2012BAD31B04);四川省科技支撑计划项目(2012NZ0002)。

* 通信作者: 敖晓琳(1979—),女,四川乐山人,理学博士,副教授,硕士研究生导师,主要从事食品科学方面的研究。

E-mail: huavslin@163.com

引用本文: 胡爱华,敖晓琳,蒲彪,等. 不同发酵度茶叶的主要理化及香气成分分析[J]. 食品与生物技术学报,2017,36(12):1283-1289.

茶叶是山茶属山茶科植物茶的芽叶,长圆形或椭圆形,可用开水直接泡饮,具有消食去腻、降火明目、消暑解毒、生津止渴等功效,深受广大消费者喜爱。根据茶叶的发酵程度可分为零发酵茶、半发酵茶、全发酵茶、后发酵茶等。比如,绿茶是未发酵茶,经摊青、杀青、揉捻、干燥制成;乌龙茶是半发酵茶,发酵度 30%~70%,经晒青、做青、杀青、包揉、干燥制成;红茶是全发酵茶,发酵度 80%~90%,经萎凋、揉捻、发酵、干燥制成;藏茶属于黑茶,是后发酵茶,发酵度 100%,经杀青、揉捻、渥堆、干燥制成。茶叶成分复杂,含有 500 多种有机成分和无机矿物元素,如茶多酚、单宁、咖啡碱、游离氨基酸、维生素等,具有抗氧化、抗癌、预防心血管疾病、降血糖、降血脂、抗动脉粥样硬化及抗血栓等多种药理功能^[1-3]。茶叶的发酵程度不同,所含的化学成分及其含量亦不相同,从而导致风味口感和保健功效各不相同。作者对绿茶、乌龙茶、红茶和藏茶的基本化学成分、活性成分及香气成分进行探究,比较四者之间香气成分的变化情况,旨在了解绿茶、乌龙茶、红茶、藏茶之间品质成分的差异性,以为不同发酵度茶叶的品质鉴定提供重要的理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料、试剂与仪器

1.1.1 材料 早春绿茶、乌龙茶、川农红功夫、川农藏茶;由四川农业大学茶厂提供。

1.1.2 试剂 茚三酮、香兰素、磷酸二氢钠、磷酸氢二钾、酒石酸钾钠、硫酸亚铁、碱式醋酸铅、氟化钠、柠檬酸三钠、冰乙酸等;均为分析纯。

1.1.3 仪器 UV-6100PC 紫外-可见分光光度计;上海美谱达仪器有限公司;BT 124S 分析天平;北京赛多利斯仪器系统有限公司;Agilent 7890A-5975C 气相色谱-质谱联用仪;美国安捷伦公司;Supelco 固相微萃取装置(65 μ mPDMS/DVB);美国 Supelco 公司。

1.2 方法

1.2.1 常规成分及活性成分的测定 水分、水浸出物、蛋白质、粗纤维、灰分、茶多酚、咖啡碱、游离氨基酸的测定分别参考 GB8304-2013、GB/T8305-2013、GB5009.5-2010、GB/T5009.88-2008、GB/T5009.4-2010、GB/T 83313-2008、GB/T 8312-2013、GB/T 8314-2013;茶多糖的测定采用蒽酮比色法;

儿茶素的测定采用香荚兰素比色法。

1.2.2 香气成分的测定

1)HS-SPME 萃取过程:将茶叶样品粉碎,称取茶样 1.00 g 于 20 mL 的顶空进样瓶中,加入 6 mL 煮沸的超纯水冲泡。80 $^{\circ}$ C 水浴加热 10 min,期间摇晃一次;将已老化的萃取针插入进样瓶,顶空吸附 50 min,250 $^{\circ}$ C 条件下解析 3.5 min^[4]。

2)GC-MS 分析条件:色谱柱为 HP-5MS(30 m \times 0.25 mm,0.25 μ m)弹性石英毛细管柱;进样口温度为 250 $^{\circ}$ C;升温程序:初始柱温 50 $^{\circ}$ C,保持 5 min,以 3 $^{\circ}$ C/min 升至 210 $^{\circ}$ C,保持 3 min,再以 15 $^{\circ}$ C/min 升至 230 $^{\circ}$ C;不分流进样^[4]。

质谱条件:电离方式为 EI,电子能量 70 eV,离子源温度为 230 $^{\circ}$ C,接口温度为 280 $^{\circ}$ C;质量扫描范围:m/z 35~400 amu;溶剂延迟时间为 2.8 min。

3)定性定量分析:GC-MS 检测的未知化合物经计算机检索与 NIST.11 library 相匹配,从而确定其化学成分。仅报道匹配度和纯度大于 800(最大值 1 000)的鉴定结果。采用峰面积归一化法进行定量,确定不同茶样中各组分的相对含量。

2 结果与分析

2.1 常规化学成分质量分数的比较

茶叶中基本化学成分是茶叶品质的基础,直接影响到茶叶的保存和品质风味。对 4 类茶的干物质、水浸出物、蛋白质、总灰分及粗纤维含量测定的结果见表 1。由表 1 可以看出,绿茶中粗纤维质量分数明显低于其他茶,水浸出物、蛋白质质量分数比红茶分别高 14.4%和 10.06%;乌龙茶中水分质量分数最少,其余成分与其他茶相比差异不大;红茶中水浸出物和蛋白质质量分数最低;藏茶中水分质量分数最高,为 9.32%,总灰分和粗纤维质量分数也是四类茶中最高的。

这四类茶原料采摘不同,制作工艺不同,导致基本成分各不相同。加工中水分的散失方式、速率对茶叶造型及色香味的形成有显著的影响,而且干茶的水量质量分数对茶叶的保存极为重要,一般名优绿茶的水分都控制在 6%以下,这与实验中绿茶的水分测定结果相一致^[5-6]。藏茶制作工艺复杂独特,尤其是渥堆这一发酵环节,要求保持较高的水分,所以在制茶工艺中调控水分的变化,保持渥堆叶的适度水分,对藏茶品质的形成十分重要^[9]。随着

表 1 茶样中常规化学成分的质量分数

Table 1 Contents of regular ingredients of tea sample

%

茶样	干物质	水浸出物	蛋白质	总灰分	粗纤维
绿茶	94.43±0.14	46.81±0.58	29.98±0.14	5.76±0.06	7.89±0.12
乌龙茶	97.08±0.08	38.46±0.56	23.05±0.15	5.47±0.04	15.17±0.08
红茶	92.67±0.12	32.41±0.55	19.82±0.12	5.46±0.06	12.74±0.08
藏茶	90.68±0.20	33.32±0.5	23.24±0.12	6.21±0.08	15.47±0.05

注:结果系平均值±标准偏差。

茶叶的生长,蛋白质的质量分数逐渐降低,粗纤维质量分数增加,因此蛋白质、粗纤维质量分数可以反映原料老嫩度的状态^[7]。可以看出,绿茶、乌龙茶、红茶、藏茶四者灰分相差不大,而红茶的蛋白质质量分数最低,绿茶的粗纤维质量分数最低,这是因为乌龙茶、红茶和藏茶采用的鲜叶较老,绿茶采用的鲜叶较嫩,是早春幼嫩芽叶。

茶叶中水浸出物是指在冲泡过程中能进入茶汤的无机和有机化合物,其质量分数的多少决定了茶汤的口感和色泽。表 1 中绿水浸出物质量分数明显高于后三者,这是因为后三者在加工环节有部分成分的转化和损失。

2.2 活性成分质量分数的比较

茶汤中咖啡碱是主要的苦味物质,多酚类是主要的涩味物质,氨基酸是主要的鲜味物质,因此茶汤滋味的优劣是茶叶中苦涩鲜味物质共同作用的

结果^[8-9]。作者对 4 类茶的茶多酚、儿茶素、咖啡碱、茶多糖及游离氨基酸的测定结果见表 2。由表 2 可知,绿茶中茶多酚、儿茶素质量分数略高于乌龙茶,二者多酚质量分数远远高于红茶和藏茶。乌龙茶、红茶和藏茶的茶多糖和游离氨基酸均低于绿茶,其中红茶的游离氨基酸质量分数最低。而红茶的咖啡碱质量分数为 5.42%,明显高于其他三类茶,这直接形成了红茶、藏茶醇和不涩,绿茶鲜爽苦涩,乌龙茶醇厚甘爽、淡薄苦涩的滋味风格。由于红茶和藏茶在加工过程中茶多酚等物质得到了充分的氧化降解,降低了茶叶的苦涩味^[10]。郭金龙^[8]在对雅安藏茶评价研究中表明,儿茶素在发酵过程中逐渐转化为茶色素类,其质量分数的大幅度降低是形成雅安藏茶醇和而不苦涩的重要物质基础,同时儿茶素的系列氧化产物具有橙黄、橙红色,使茶叶色泽由绿色转为红褐色,茶汤呈红褐色,这与实验中茶汤情况一致。

表 2 茶样中活性成分的质量分数

Table 2 Contents of active ingredients of tea sample

%

茶样	茶多酚	儿茶素	咖啡碱	茶多糖	游离氨基酸
绿茶	18.31±0.32	6.48±0.25	3.96±0.05	3.53±0.02	4.75±0.16
乌龙茶	13.62±0.50	5.85±0.3	2.38±0.10	2.93±0.05	3.71±0.25
红茶	7.32±0.35	1.08±0.24	5.42±0.05	2.36±0.10	1.65±0.22
藏茶	8.00±0.18	1.21±0.25	4.76±0.06	2.72±0.06	2.75±0.20

众所周知,茶叶具有一定的保健功能,这与茶叶中丰富的生理活性物质密切相关。陈金娥^[11]研究表明,绿茶的抗氧化作用主要来自茶多酚,红茶的抗氧化作用主要来自茶多糖,且其抗氧化能力与含量成量效关系。另外,作为高纤维食物,乌龙茶、红茶、藏茶可以清热利便,帮助消化;雅安藏茶中的茶碱对脂肪具有非常强的溶解性^[12-13]。

2.3 香气成分的测定结果

4 种不同发酵度茶样通过 HS-SPME 萃取并经 GC-MS 分析后得到的总离子流色谱图见图 1,各香气成分相对含量见表 3,4 类茶的香气成分分析比

较见表 4,香气成分相对含量比较见图 2。

由图 1 和表 3 可知,春露茶共分离出 65 个峰,鉴定出香气成分 27 种,占总组分的 92.35%,相对含量依次为醇类(38.97%)、烯烃类(27.47%)、酮类(6.01%)、酯类(1.46%)等;其他杂类化合物占总组分的 9.38%。同时检出量最多的为橙花叔醇、甜没药烯、 β -倍半水芹烯和芳樟醇,含量分别为 29.66%、11.5%、10.46%和 8.07%。由图 2 可以看出,醇类和烯烃类构成了早春绿茶的主要香气成分,它们之间以不同比例混合,共同主导着绿茶的香型。

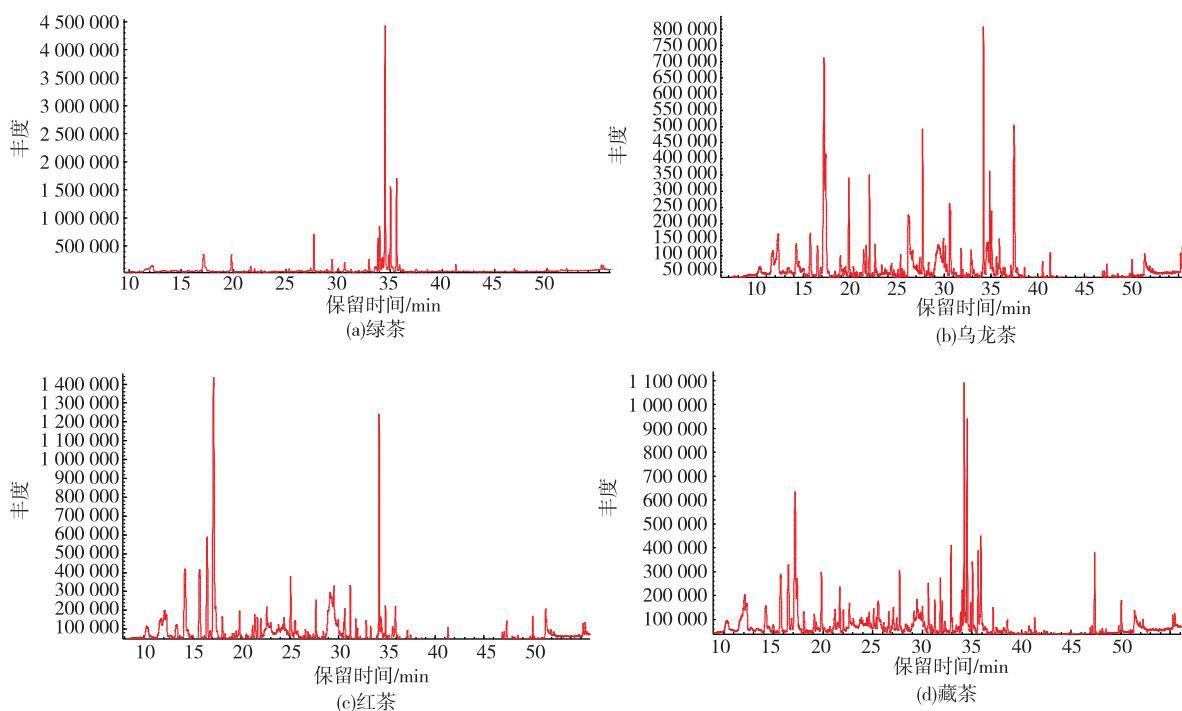


图 1 不同发酵度茶香气成分总离子流色谱图

Fig. 1 GC-MS total ion chromatogram of aromatic components in the different fermentation degree of tea

表 3 4 种茶样的 GC-MS 分析结果

Table 3 GC-MS analysis results of aromatic components in the four kinds of tea

化合物种类	保留时间/ min	化合物名称	匹配度/ %	相对含量/%			
				绿茶	乌龙茶	红茶	藏茶
醛类	10.18	苯甲醛	94	—	—	0.08	—
	14.177	苯乙醛	91	—	1.97	6.11	0.79
	20.506	3,4-二甲基苯甲醛	91	—	—	0.18	—
	21.675	2,3-二氢-2,2,6-三甲基苯甲醛	89	—	—	—	1.69
	22.04	癸醛	91	0.39	2.92	0.72	0.7
	22.639	β -环柠檬醛	94	0.4	0.89	0.82	0.84
	25.088	2-苯基巴豆醛	96	—	—	1.96	—
	34.358	可卡醛	96	—	—	0.78	—
酯类	16.485	2-(5-甲基-5-乙基-2-四氢呋喃)-2-丙烷基碳酸乙酯	95	—	0.75	6.78	8.8
	21.402	水杨酸甲酯	95	—	1.6	1.36	—
	24.426	乙酸苯乙酯	80	—	—	0.44	—
	29.148	丙位壬内酯	87	—	—	—	0.8
	30.025	乙酸香叶酯	90	0.36	—	—	—
	30.136	己酸己酯	90	—	0.57	—	—
	35.896	二氢猕猴桃内酯	95	—	1.49	1.24	3.56
	38.564	邻苯二甲酸二乙酯	87	—	—	—	0.68
	40.507	茉莉酮酸甲酯	98	—	0.51	—	—
	40.745	对苯二甲酸二乙酯	93	—	—	—	0.19
	50.044	棕榈酸甲酯	96	0.52	0.5	0.82	—
	50.054	14-甲基十五烷酸甲酯	98	—	—	—	1.03

化合物种类	保留时间/ min	化合物名称	匹配度/ %	相对含量/%			
				绿茶	乌龙茶	红茶	藏茶
	55.239	亚油酸甲酯	99	—	0.6	0.43	0.44
	55.429	反式油酸甲酯	92	—	—	—	0.49
	55.439	油酸甲酯	93	0.58	—	—	—
	55.444	硬脂酸甲酯	87	—	—	0.36	—
酮类	16.777	3,5-辛二烯-2-酮	87	—	—	0.08	—
	18.048	异佛尔酮	90	—	—	1.07	1.06
	19.095	2,6,6-三甲基-2-环己烯-1,4-二酮	91	—	—	—	0.49
	19.114	2,6,6-三甲基-2-环己烯-1,4-二酮	86	—	—	0.39	—
	29.986	大马士酮	90	—	—	0.57	—
	30.658	茉莉酮	98	1.57	—	1.11	—
	31.242	α -大马酮	97	0.35	—	1.67	1.16
	31.816	甲位紫罗兰酮	93	—	0.73	—	1.82
	32.877	香叶基丙酮	97	2.53	—	0.65	2.66
	33.423	5-甲基-6,7-二甲基香豆酮	81	—	—	—	0.41
	34.197	乙位紫罗兰酮	95	1.56	6.71	7.12	7.7
	34.577	Z-四氢-6-(2-戊烯基)-2H-吡喃-2-酮	93	—	0.29	—	—
	47.362	植酮	95	—	0.39	0.65	2.52
	醇类	17.152	芳樟醇	97	8.07	—	19.92
34.523		橙花叔醇	91	29.66	8.7	—	—
41.263		植醇	93	1.24	—	—	7.52
烯炔类	13.286	右旋萜二烯	96	—	—	0.21	—
	28.35	α -萜澄茄油烯	95	—	0.33	—	1.15
	28.944	环蒜头烯	97	0.34	—	—	—
	29.445	α -古巴烯	99	1.59	—	—	—
	31.816	α -萜品烯	83	—	—	0.67	—
	32.985	异丁子香烯	80	—	—	—	0.52
	33.554	α -榄树烯	93	0.94	—	—	—
	33.681	白菖烯	80	0.7	—	—	—
	34.309	马榄烯	93	1.77	—	—	—
	35.049	甜没药烯	89	11.5	—	—	—
	35.589	γ -杜松烯	97	—	0.71	—	—
	35.628	β -倍半水芹烯	96	10.46	—	—	2.87
36.232	γ -芹子烯	81	0.17	—	—	—	
烷烃类	21.655	十二烷	94	0.88	1.05	—	—
	30.594	十四烷	98	—	1.77	0.43	1.5
酸类	21.188	辛酸	83	—	—	—	0.93
	51.383	棕榈酸	97	—	0.6	1.96	—
	55.244	2-氯乙基亚油酸	93	0.65	—	—	—
其他	18.924	苯乙腈	97	—	0.96	—	—
	26.183	吡啶	94	—	2.56	—	—
	27.074	1,2,3-三甲氧基苯	93	—	—	—	1.05
	33.846	2,4,5,6,7,8-六氢-3,5,5,9-四甲基-1-苯并环庚烯	90	3.69	—	—	—
	34.002	1-(1,5-二甲基-4-己烯)-四甲基苯	98	5.69	—	—	1.57

注:“—”表示未检出。

表4 四类茶香气成分分析比较结果

Table 4 Comparison results of four kinds tea aromatic components analysis

样品名称	绿茶	乌龙茶	红茶	藏茶
香气成分	26	24	30	30
酮类	4	4	9	8
醛类	2	3	7	4
酯类	3	7	7	8
烯类	8	2	2	3
醇类	3	1	1	1
酸类	1	1	1	1
烷类	1	2	1	1
其他	2	2	—	2

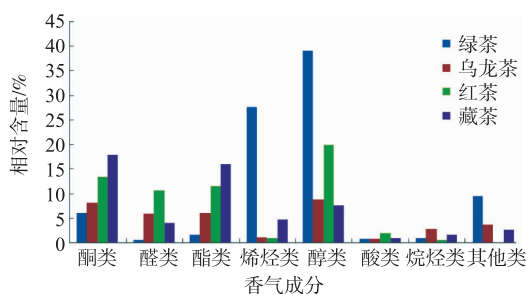


图2 四类茶香气成分含量对比图

Fig. 2 Comparison of aromatic components contents in the four kinds tea

由图1和表3可知,乌龙茶共分离出82个峰,鉴定出24种香气成分,占总组分的43.55%,相对含量依次为醇类(8.7%)、酮类(8.12%)、酯类(6.02%)、醛类(5.78%)、烷烃类(2.82%)等;其他杂类化合物是苯乙腈和吡啶。检出量最多的为橙花叔醇(8.7%)和乙位紫罗兰酮(6.71%)。由图2可以看出,乌龙茶各成分检出量不多,分布相对平衡。吡啶相对含量在乌龙茶中为2.56%,Wang等认为,随着发酵程度的增加,吡啶相对而言含量急剧增加,但随着发酵程度继续加重,其相对含量又急剧降低,说明吡啶对轻度发酵的乌龙茶香气贡献非常大^[14]。

由图1和表3可知,红功夫茶共分离出112个峰,鉴定出30种香气成分,占总组分的61.36%,相对含量依次为醇类(19.92%)、酮类(13.31%)、酯类(11.43%)、醛类(10.65%)、等。检出量最多的为芳樟醇(19.92%)、乙位紫罗兰酮(7.12%)、2-(5-甲基-5-乙炔基-2-四氢呋喃)-2-丙烷基碳酸乙酯(6.78%)、苯乙醛(6.11%)。许多学者对不同地方不同品种的

红茶香气成分进行鉴定,发现不同红茶的香气成分组成大致相同,相对含量差异较大,也主要是醇类、酮类、醛类、酯类等物质^[15-17]。

由图1和表3可知,藏茶共分离出109个峰,鉴定出31种香气成分,占总组分的59.16%,相对含量依次为酮类(17.82%)、酯类(15.99%)、醇类(7.52%)、烯类(4.54%)、醛类(4.02%),酸类和烷烃类检出量较低。检出量最多的为2-(5-甲基-5-乙炔基-2-四氢呋喃)-2-丙烷基碳酸乙酯(8.8%)、乙位紫罗兰酮(7.7%)、植醇(7.52%)。由图2和表4得出,与绿茶相比,经过深度发酵的红茶、藏茶在香气种类上增加,烯类香气相对含量下降明显,这可能与茶叶原料鲜嫩度下降和发酵过程中的氧化降解有关^[18]。

3 讨论

不同发酵度的茶叶有各自主要的呈香物质,亦有共同的香气成分。如乙位紫罗兰具有紫罗兰香气,是4种茶中共有的香气成分,且在乌龙茶、红茶和藏茶中相对含量较高,是这三类茶的主要香气物质之一;癸醛有显著的脂肪气息、甜香, β -环柠檬醛具有杏仁、芒果等水果样的果香青香,二者在不同发酵度茶样中相对含量差异不大,说明这两种物质是茶叶中比较普遍的香气成分;酯类化合物中,二氢猕猴桃内酯、亚油酸甲酯、2-(5-甲基-5-乙炔基-2-四氢呋喃)-2-丙烷基碳酸乙酯是乌龙茶、红茶、藏茶共有的成分,值得注意的是2-(5-甲基-5-乙炔基-2-四氢呋喃)-2-丙烷基碳酸乙酯在红茶和藏茶中相对含量明显较高,可能随着发酵度的增加而增加,该物质尚未见文献报告,关于其检出原因及影响需进一步判定。具有似风信子、紫丁香气息的苯乙醛在红茶中高达6.11%,是川红特殊香型的重要组分;醇类化合物中,具有甜美似玫瑰和苹果香气的橙花叔醇在绿茶和乌龙茶中相对含量较高,有铃兰香、果香和清香型的芳樟醇在绿茶和红茶中相对含量较高,而具有甜香味的植醇仅在绿茶和藏茶中检出,由此可见,醇类对绿茶的香气贡献很大。

本次实验茶样均取自四川农业大学茶厂,测得的香气成分及相对含量与文献报道略有不同,可能与茶样的采摘季节、品种、产地及加工方式或检测的仪器设备等有关。如烯类化合物可能随茶叶生长季节的变换而减少^[19]。

4 结 语

作者对绿茶、乌龙茶、红茶和藏茶的主要理化及香气成分进行对比分析,得出以下结果:未发酵的绿茶水浸出物和蛋白质质量分数较高,乌龙茶、红茶和藏茶中粗纤维质量分数较高;红茶和藏茶中茶多酚和儿茶素的质量分数因发酵度的提高而低

于绿茶和乌龙茶,咖啡碱的质量分数稍高于绿茶和乌龙茶,氨基酸在绿茶中质量分数最高,从而构成各自不同口感的滋味风格;绿茶香气以醇类和烯炔类为主,红茶香气以醇类、酮类、酯类、醛类为主,藏茶中香气以酮类和酯类为主,乌龙茶中各香气成分检出量不多,分布相对平衡。

参考文献:

- [1] YU Xinrui, QU Jun, CONG Yuezhu. Research progress on the chemical components and pharmaceutical of tea[J]. **Chinese Herbal Medicine**, 1995, 26(4): 219-221. (in Chinese)
- [2] DAVY G, CRISTINA C, CARLO B, et al. High throughput qualitative analysis of polyphenols in tea samples by ultra-high pressure liquid chromatography coupled to UV and mass spectrometry detectors[J]. **Journal of Chromatography A**, 2010, 1217(44): 6882-6890.
- [3] XIA Daozong, ZHANG Yuanjun, NI Damei, et al. Study on antitumor and Immune regulation activities of anjibaicha polysaccharide[J]. **Journal of Tea Science**, 2013, 33(1): 40-44. (in Chinese)
- [4] 吕世懂. GC-MS 结合化学计量学方法研究茶叶挥发性成分[D]. 昆明: 昆明理工大学, 2014.
- [5] CHEN Changhui, GUO Jinlong, WANG Yanxia, et al. Quality variation during the processing of Ya'an Tibet tea[J]. **Chemistry and Industry of Forest Products**, 2011, 31(4): 69-74. (in Chinese)
- [6] LIU Shujuan, LI Shaijun, HUANG Huaisheng, et al. Variations of main biochemical components and quality during roasted green tea processing[J]. **Hunan Agricultural Sciences**, 2008(5): 113-115. (in Chinese)
- [7] 李娟. 非水溶性茶叶蛋白质提取及理化性质研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2006.
- [8] 郭金龙. 雅安藏茶活性级分筛选和评价研究[D]. 雅安: 四川农业大学, 2010.
- [9] XIAO Lizheng, LIU Zhonghua. The fluorine concentration in dark tea and the research progress of low fluorine concentration dark tea[J]. **Tea Communication**, 2007, 12(34): 9-14. (in Chinese)
- [10] YIN Jie, FAN Shisheng, SONG Qinfei, et al. Change in quality of Congou black tea during the fermentation process[J]. **Journal of Sichuan Agricultural University**, 2012, 30(4): 415-418. (in Chinese)
- [11] CHEN Jin'e, FENG Huijun, ZHANG Hairong. Effects of active ingredients in black tea, green tea and oolong on antioxidant capability[J]. **Food Science**, 2009, 30(3): 62-66. (in Chinese)
- [12] NI Dejiang, XIE Bijun, SONG Chunhe. Comparative studies of tea polysaccharides from different kinds of tea on diabetic mice[J]. **Journal of Tea Science**, 2002, 22(2): 160-163. (in Chinese)
- [13] HUANG Qun, CHEN Linjie, LI Yanpo, et al. Study on the effect of dark tea fermentation liquid with eurythmum on the activity of digestive enzyme[J]. **Microbiology China**, 2007, 34(5): 917-920. (in Chinese)
- [14] WANG L, LEE J, CHUNG J, et al. Discrimination of teas with different degrees of fermentation by SPME-GC analysis of the characteristic volatile flavor compounds[J]. **Food Chemistry**, 2008, 109(1): 196-206.
- [15] ZHOU Xuefang, TANG Hong, LEI Qian, et al. Analysis of aroma components of sichuan black tea[J]. **Journal of Southwest China Normal University: Natural Science Edition**, 2011, 36(3): 178-182. (in Chinese)
- [16] REN Hongtao, ZHOU Bin, XIA Kaiguo, et al. Comparative analysis of aroma compositions in different-grades Yunnan Congou black Tea[J]. **Journal of Southern Agriculture**, 2012, 43(4): 489-492. (in Chinese)
- [17] LIU Chunli, GUO Wenfei. Analysis of the aroma components in Wu Yi-shan black tea[J]. **Journal of Zhejiang University (Science Edition)**, 2014, 41(1): 58-62. (in Chinese)
- [18] GUO Jianhua, ZHANG Lanlan, BIAN Jinlin, et al. Analysis of the aromatic components in three cultivars of green tea harvested in early spring[J]. **Journal of Fujian Agriculture and Forestry University: Natural Science Edition**, 2011, 40(6): 590-594. (in Chinese)
- [19] LIU Xue, LIU Fei, HUANG Xianzhi, et al. Analysis of aroma compounds in mulberry leaf green tea by SPME-GC-MS[J]. **Food Science**, 2012, 33(20): 238-242. (in Chinese)