

doi:10.12301/spxb202100343

文章编号:2095-6002(2022)03-0112-12

引用格式:赵诗兰,蒋科,梁森,等.利川红茶与恩施绿茶中游离态与键合态挥发性物质对比分析[J].食品科学技术学报,2022,40(3):112-123.



ZHAO Shilan, JIANG Ke, LIANG Miao, et al. Comparative study of free and bound volatile components in Lichuan black tea and Enshi green tea[J]. Journal of Food Science and Technology, 2022,40(3):112-123.

利川红茶与恩施绿茶中游离态与键合态挥发性物质对比分析

赵诗兰, 蒋科, 梁森, 刘双双, 冯亮, 杨艳*, 余爱农
(湖北民族大学化学与环境工程学院/生物资源保护与利用湖北省重点实验室, 湖北恩施 445000)

摘要:采用顶空固相微萃取技术结合气相色谱-质谱联用仪对武陵地区湖北省恩施州内特有的利川红茶和恩施绿茶中游离态、键合态挥发性物质的种类和含量进行了研究。结果表明,利川红茶中挥发性物质有52种,包括36种游离态挥发性物质和25种键合态挥发性物质,其中有9种相同挥发性物质;恩施绿茶中挥发性物质有56种,包括15种游离态挥发性物质和45种键合态挥发性物质,其中有4种相同挥发性物质。对两茶叶中挥发性物质的香气活性进行了分析,发现构成利川红茶风味轮廓的重要组成是醛类、醇类和酯类;而构成恩施绿茶风味轮廓的重要组成是醛类、醇类和烯烃类。利川红茶中游离态香气活性物质主要为香叶醇和辛醛,键合态香气活性物质主要为水杨酸甲酯、 α -柠檬醛和芳樟醇。恩施绿茶中游离态香气活性物质主要是辛醛和柠檬烯,键合态香气活性物质主要是芳樟醇和茶。对两茶叶香味轮廓分析发现,利川红茶的主要香气特征为果香和花香,恩施绿茶的主要香气特征为果香和化学气味。对两茶叶中挥发性物质的含量分析发现,利川红茶与恩施绿茶游离态挥发性成分中酚类和羧酸类物质含量差异明显,键合态挥发性成分中酚类、酮类物质的含量存有较大差异。希望研究对阐述茶叶香味的组成及风味物质的生成提供参考,同时为利川红茶和恩施绿茶的精深加工和品质控制提供帮助。

关键词:利川红茶;恩施绿茶;游离态;键合态;挥发性物质

中图分类号:TS201.2;TS272.7

文献标志码:A

地处武陵地区的湖北省恩施州是我国红茶、绿茶的主要产地之一。其中利川红茶和恩施绿茶以其独特的香味成为该地区深得人们喜爱的传统饮茶。其中“利川红”是利川红茶较具代表性的茶品,而“恩施玉露”是恩施绿茶代表性的茶品,目前“一红一绿”已成为恩施地区茶叶宣传的名片。“利川红”是利川工夫红茶的简称,由茶农采摘鲜嫩的一芽、一芽一叶、一芽二叶,经初制、揉捻、发酵等多道

工序制作而成。其成品色泽乌润,滋味醇甜。“恩施玉露”是中国传统名茶,其传统加工工序包括蒸青、扇凉、铲头毛火、揉捻、铲二毛火、整形上光、烘焙、拣选等^[1]。两种茶叶加工过程的主要差别在于红茶有比较复杂的发酵过程。

茶叶香气是考量茶叶品质优劣的一个重要因素。茶叶中游离态的挥发性物质可以被人直接感受到,同时对茶香起主要贡献,也是人们对茶叶香气成

收稿日期:2021-07-14

基金项目:国家自然科学基金资助项目(31960512);生物资源保护与利用湖北省重点实验室(湖北民族大学)基金项目(PT012010);湖北民族大学高水平科研成果校内培育项目(4205012);湖北民族大学大学生创新(创业)项目(X202010517173)。

第一作者:赵诗兰,女,本科生,研究方向为食品化学。

*通信作者:杨艳,女,副教授,博士,主要从事食品化学方面的研究。

分研究的热点。但天然植物类食品风味不仅来自游离态形式的挥发性物质,也来自糖苷结合的前体。糖苷键合的挥发性物质,即键合态的风味物质在水果和植物中大量存在,它们大部分是热稳定、不易挥发的化合物。键合态挥发性物质作为风味前体,经水解或酶解释放出糖苷配基才能为人们所感知。茶叶中键合态物质在加工、储藏过程中均有可能被释放而改变茶叶香气。茶叶中挥发性物质的提取是分析茶叶成分最重要的步骤,其提取方法多种多样^[2-4]。常见的有:同时蒸馏萃取法、水蒸气蒸馏法、液液萃取法、固相微萃取法、超临界流体萃取法、减压蒸馏萃取法等。其中以顶空固相微萃取(headspace solid-phase microextraction, HS-SPME)提取技术较为流行与常见^[5-7]。这种技术所需样品体积小,操作简便且灵敏度高,常与气相色谱-质谱联用仪(gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS)联合用于检测物质中挥发性成分^[8-10]。

近些年来对各地域的名茶挥发性物质及香气种类的报道研究较多,主要集中在云南、安徽、福建、江西、浙江等地。苏新国等^[11]鉴定出桂花香型凤凰单枞乌龙茶有64种主要香气组分,香气组分中比例较高的是芳樟醇、橙花叔醇、茉莉酸甲酯和吲哚。陈熠敏等^[12]从靖安白茶和安吉白茶中检测出共有挥发性物质30种,其中苧醇、庚醛、庚酸甲酯和2,2,6-三甲基环己酮含量较高。刘建军等^[13]分析得到著名绿茶西湖龙井中主要的呈香物质为二甲基硫醚、2,3-丁二酮、2-乙基-3-甲基吡嗪、2-乙基-3,6-二甲基吡嗪和芳樟醇等,其香气浓郁并带高火香。

关于武陵地区茶叶中挥发性物质种类、含量及特色香味的研究相对较少,且对不同工艺茶叶游离态、键合态挥发性物质的对比研究较少。再者游离态挥发性物质的研究可以直观地反映茶叶的品质,协助我们筛选茶叶;而键合态挥发性物质的研究能够为茶叶加工储藏及茶叶品质的提高提供理论指导。为弥补武陵地区茶叶风味研究空缺,本研究选取以“利川红”为代表的利川红茶和以“恩施玉露”为代表的恩施绿茶为研究对象,对茶叶中游离态、键合态挥发性物质成分与含量进行了对比分析。同时本研究根据实验结果计算了茶叶中挥发性物质的香气活度值(odor activity value, OAV),对茶叶中各香气成分及茶叶总体香味的贡献进行了评价,进一步确定了两种茶叶的香气特征。希望本研究对了解茶叶风味物质种类、阐述茶叶香味组分提供参考,同时

为利川红茶和恩施绿茶两种茶叶的精深加工和品质控制提供帮助。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

利川红茶选取星斗山利川红,利川市飞强茶业有限公司;恩施绿茶选取特级恩施玉露,恩施蓝焙茶业股份有限公司,两种茶叶原产地均为武陵地区茶园。

正戊烷、乙酸乙酯、甲醇、氯化钠、柠檬酸、磷酸氢二钠、二氯甲烷、乙醚均为分析纯,国药集团化学试剂有限公司;甲醇,色谱纯,国药集团化学试剂有限公司;AR2000酶(rapidase revelation aroma,商业糖苷酶制剂,其中 β -D-葡萄糖苷酶的活性为1000 U/g),帝斯曼(中国)有限公司;1-辛醇($\geq 98\%$),Amberlite XAD-2树脂(20~60目),美国Supelco公司; $C_7 \sim C_{30}$ 正构烷烃,分析纯,美国Sigma-Aldrich公司。

1.2 仪器与设备

6890N/5975MSD型气质联用仪,美国Agilent公司;固相微萃取头(50/30 μm DVB/CAR/PDMS),美国Supelco公司;RE-52AA型旋转蒸发器,上海亚荣生化仪器厂;SHZ-III型循环水式多用真空泵,临海谭式真空泵设备有限公司;CONCEPT型多功能自动进样系统(HS-SPME模块),德国PAS公司;20 mL带1.1 mm隔垫顶空螺纹口样品瓶及纺锤形磁力搅拌子,美国Agilent公司。

1.3 实验方法

1.3.1 茶汤的制备

称取利川红茶、恩施绿茶各约15.00 g,加入具塞锥形瓶中,分别加入沸水500.0 mL,密闭,间隔15 min轻微摇晃1次,使茶水混匀,待茶汤自然降至室温备用。

1.3.2 游离态挥发性物质的提取

取茶汤10.00 mL置于20 mL顶空螺纹样品瓶中,加入质量为2.000 0 g NaCl和20.00 μL 1-辛醇的乙醇溶液(质量浓度为1.571 g/L),加入磁力搅拌子,拧紧瓶盖供GC-MS分析。

1.3.3 键合态挥发性物质的提取

称取50.00 g Amberlite XAD-2大孔吸附树脂于索氏提取器中,依次用200.0 mL正戊烷、200.0 mL乙酸乙酯、200.0 mL甲醇回流处理10 h后

浸渍于甲醇中。以甲醇为溶剂进行湿法装柱(3.3 cm×30 cm),用蒸馏水以20.0 mL/min的流速冲洗至无醇味,待用。

取茶汤400.0 mL,以3.0 mL/min的流速流经处理好的Amberlite XAD-2树脂柱,提取流程见图1。

先用600.0 mL去离子水以5.0 mL/min的流速洗柱,除去水溶性的糖、酸类物质;再用600 mL V(乙醚):V(戊烷)=1:1,以5.0 mL/min流速冲洗柱子以除去游离态挥发性物质;接着用600 mL甲醇以5.0 mL/min的流速洗脱出吸附在树脂上的糖苷

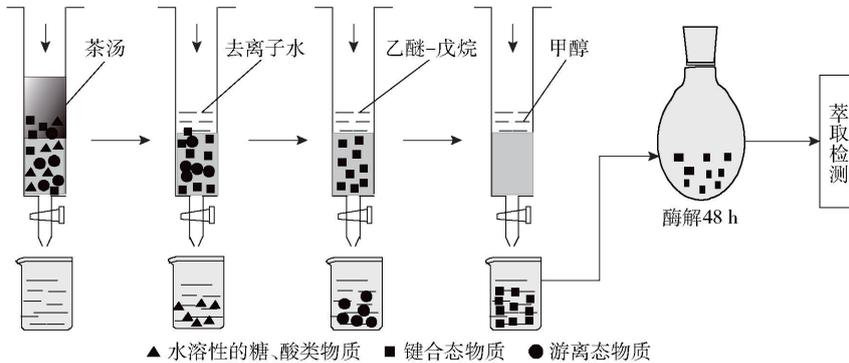


图1 键合态挥发性物质提取流程

Fig.1 Flow chart for extracting bound volatile substances

1.3.4 挥发性物质的定性和定量分析

采用HS-SPME装置对样品进行萃取并经GC-MS对利川红茶、恩施绿茶中挥发性物质进行定性与定量分析。

HS-SPME法。将样品瓶置于CONCEPT型多功能装置进行恒温、萃取处理。在50℃下加热平衡20 min后,将萃取针插入顶空瓶进行萃取,待顶空吸附36 min后,将萃取针头插入GC-MS进样口解析2 min。

GC检测法。毛细管色谱柱为DB-5MS型(30 m×0.25 mm×0.25 μm),不分流进样。程序升温,初始柱温为40℃保持4 min,以5.0℃/min升温至260℃,以15.0℃/min升温至280℃,保持1 min;进样口温度250℃;载气为He气,流速1.0 mL/min。

MS检测法。离子化方式EI,离子源温度250℃,质量扫描范围 m/z 45~550;电子能量70 eV;扫描方式为全扫描。

定性方法。化合物经GC-MS联用技术检测,将检测结果与NIST 20数据库对比匹配,结合以 $C_7 \sim C_{30}$ 正构烷烃混合物测定的保留指数(retention index, RI),再结合文献报道的保留指数进行比对辅

助定性,确认检测挥发性物质成分。
定量方法。采用内标物质进行定量,内标物为1-辛醇的乙醇溶液,经含量和峰面积对比,得到被检测物质的含量。根据公式(1)计算出挥发性物质的量。

$$x_i = f_i \frac{A_i}{A_s} m_s \quad (1)$$

式(1)中, x_i 为组分质量浓度,μg/L; A_i 为化合物的峰面积; m_s 为内标化合物质量浓度,μg/L; A_s 为内标物峰面积; f_i 为待测组分对内标物的质量校正因子,令其为1。

1.3.5 挥发性物质的香气活度值计算

根据利川红茶、恩施绿茶中挥发性物质的含量,以及各化合物在水中的气味阈值计算OAV^[14]。

$$OAV = \frac{\rho}{OT} \quad (2)$$

式(2)中, ρ 为化合物的质量浓度,μg/L; OT 为化合物在水中的气味阈值,μg/L,通过查阅工具书得到^[15]。根据各挥发性物质的风味值,挑选出有显著风味的化合物,以此来分析利川红茶和恩施绿茶中挥发性物质的香气活性。

1.3.6 挥发性物质的整体风味评价

根据OAV将表现出类似香气特征的挥发性物

质分成不同组,建立利川红茶、恩施绿茶游离态与键合态挥发性物质的香气特征雷达图(图中坐标值由各OAV加和后取自然对数计算得到)。

1.3.7 挥发性物质分布分析

为更好地展示利川红茶、恩施绿茶中不同种类挥发性物质的分布情况,将各挥发性物质浓度含量取自然对数后绘制热图,以评价各物质在两种茶叶中的分布情况,用颜色深浅度代表各挥发性物质浓度大小。

1.4 数据处理

实验数据采用 Microsoft Excel 2016 软件建立数

据库,并采用 Origin 2018 软件绘图。每种样品平行提取3次,最终结果为3次的平均值。

2 结果与分析

2.1 游离态与键合态挥发性物质的组成

采用 HS-SPME 装置提取利川红茶、恩施绿茶中的挥发性物质,并利用 GC-MS 进行分析,经 MS/RI、内标物质进行定性、定量分析,得到利川红茶与恩施绿茶中游离态和键合态挥发性物质成分及含量,列于表1。

表1 利川红茶、恩施绿茶中游离态、键合态挥发性物质成分与含量

Tab. 1 Kinds and concentrations of free and bound volatile compounds in Lichuan black tea and Enshi green tea

序号	RI ^a /RI ^b	CAS 号	名称	利川红茶		恩施绿茶	
				ρ (游离态挥发性物质)/ ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	ρ (键合态挥发性物质)/ ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	ρ (游离态挥发性物质)/ ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	ρ (键合态挥发性物质)/ ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)
1	852/855	928-96-1	顺-3-己烯醇	187.10 ± 8.73	—	—	—
2	888/ ~	52089-32-4	1,2-二甲基-苯乙醇	—	—	64.56 ± 3.19	—
3	955/972	111-70-6	1-庚醇	—	—	—	9.75 ± 0.26
4	980/995	1569-60-4	6-甲基-5-庚烯-2-醇	—	—	—	2.05 ± 0.27
5	1019/1029	104-76-7	2-乙基-1-己醇	—	—	—	16.07 ± 0.51
6	1022/ ~	1075-04-3	1-苯基-1,2-丙二醇	—	—	—	51.15 ± 1.56
7	1033/1031	100-51-6	苯甲醇	92.90 ± 0.66	430.46 ± 49.16	—	—
8	1033/ ~	655-48-1	1,2-二苯基-1,2-乙二醇	—	—	66.77 ± 2.91	—
9	1062/1069	18409-17-1	(E)-2-辛烯-1-醇	—	—	—	2.51 ± 0.17
10	1087/1086	34995-77-2	(E)-氧化芳樟醇	152.14 ± 6.74	—	—	4.83 ± 0.48
11	1087/1067	5989-33-3	(Z)-氧化芳樟醇	—	531.85 ± 14.83	—	—
12	1100/1101	78-70-6	芳樟醇	248.63 ± 8.80	410.07 ± 5.51	—	141.81 ± 8.48
13	1100/1106	29957-43-5	脱氢芳樟醇	2 241.56 ± 52.60	—	—	—
14	1103/1186	13741-21-4	2,6-二甲基-3,7-辛二烯-2,6-二醇	759.76 ± 1.40	—	—	—
15	1110/1110	60-12-8	苯乙醇	89.07 ± 4.67	1 506.47 ± 0.04	55.60 ± 4.51	68.59 ± 3.41
16	1125/ ~	111-29-5	1,5-戊二醇	—	—	22.57 ± 5.10	—
17	1149/1152	10340-23-5	顺式-3-壬烯-1-醇	—	—	—	17.40 ± 0.70
18	1164/1171	22104-79-6	2-壬烯-1-醇	—	—	—	6.76 ± 0.58
19	1169/1173	143-08-8	壬醇	—	—	—	57.84 ± 3.34
20	1171/1186	14049-11-7	环氧树脂醇	88.82 ± 3.55	208.18 ± 19.70	—	2.26 ± 0.21
21	1186/ ~	41902-42-5	三叔丁基甲醇	—	267.94 ± 27.89	—	—
22	1193/1187	10482-56-1	L- α -松油醇	—	—	—	2.99 ± 0.86
23	1227/123	5944-20-7	异香叶醇	—	—	—	39.31 ± 2.81
24	1243/1260	624-15-7	3,7-二甲基-2,6-辛二烯-1-醇	—	—	—	5.64 ± 0.28

续表 1

序号	RI ^a /RI ^b	CAS 号	名称	利川红茶		恩施绿茶	
				ρ (游离态挥发性物质)/ ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	ρ (键合态挥发性物质)/ ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	ρ (游离态挥发性物质)/ ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	ρ (键合态挥发性物质)/ ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)
25	1251/1256	106-24-1	香叶醇	350.61 ± 1.39	—	—	—
26	1251/1254	106-25-2	橙花醇	—	185.63 ± 10.31	87.75 ± 10.74	—
27	1272/1266	112-30-1	癸醇	310.54 ± 198.07	—	573.47 ± 9.81	—
28	1287/1287	29548-13-8	2-(4-亚甲基环己基)- 2-丙烯-1-醇	—	—	—	2.10 ± 0.21
29	1352/~	4272-06-4	4-十一烷醇	137.95 ± 2.03	—	—	—
30	1367/1628	2226-05-3	广藜香酚	—	—	—	11.47 ± 2.82
31	1652/1644	19435-97-3	δ -杜松醇	—	255.33 ± 6.51	—	—
小计	醇类			4 659.08	3 795.93	870.72	442.53
32	1156/1158	119-64-2	苯并环己烷	—	—	—	1.26 ± 0.14
33	1180/1178	91-20-3	萘	—	232.46 ± 24.07	—	113.17 ± 24.87
34	1297/1290	91-57-6	β -甲基萘	—	149.53 ± 12.97	—	—
35	1504/1504	128-37-0	丁基羧基甲苯	—	—	—	80.46 ± 32.05
小计	芳香烃类			0.00	381.99	0.00	194.89
36	1290/1299	499-75-2	香芹酚	—	165.28 ± 15.48	—	—
37	1449/1447	5932-68-3	(<i>E</i>)-异丁香酚	—	—	—	4.12 ± 1.19
38	1506/1502	96-76-4	2,4-二叔丁基苯酚	—	1 094.71 ± 113.88	18.90 ± 0.47	—
小计	酚类			0.00	1 259.99	18.90	4.12
39	960/964	100-52-7	苯甲醛	232.39 ± 31.87	937.86 ± 82.00	252.25 ± 11.33	19.76 ± 0.66
40	1003/1000	124-13-0	辛醛	230.45 ± 7.67	—	126.74 ± 6.13	—
41	1010/1008	4313-03-5	(<i>E,E</i>)-2,4-庚二烯醛	274.40 ± 1.92	—	—	—
42	1043/1041	122-78-1	苯乙醛	155.91 ± 2.63	—	—	—
43	1176/1163	4748-78-1	对乙基苯甲醛	—	—	—	13.78 ± 0.60
44	1199/1201	116-26-7	红花醛	—	—	4.65 ± 0.50	—
45	1216/1224	432-25-7	β -环柠檬醛	51.71 ± 0.74	—	—	—
46	1236/1249	106-26-3	β -柠檬醛	346.17 ± 13.77	2 390.96 ± 66.34	—	81.26 ± 3.47
47	1269/1270	141-27-5	α -柠檬醛	—	14 297.78 ± 360.19	—	83.22 ± 9.84
小计	醛类			1 291.03	17 626.60	383.64	198.02
48	1491/~	2051-49-2	己酸酐	30.02 ± 19.52	—	—	—
49	1264/1278	112-05-0	壬酸	—	—	—	2.76 ± 0.29
50	1345/1347	4613-38-1	橙花酸	—	1 754.00 ± 207.30	—	306.81 ± 44.02
51	1348/1355	459-80-3	香叶酸	92.68 ± 49.98	—	—	—
小计	羧酸类			122.70	1 754.00	0.00	309.57
52	1064/1062	98-86-2	苯乙酮	—	726.36 ± 62.17	—	3.73 ± 0.12
53	1070/1098	30086-02-3	(<i>E,E</i>)-3,5-辛二烯-2-酮	203.46 ± 2.45	—	—	—
54	1393/1391	488-10-8	茉莉酮	35.47 ± 0.31	—	10.04 ± 1.25	1.84 ± 0.15
55	1418/~	4677-90-1	麦由酮	—	—	—	4.41 ± 0.20
56	1434/1470	1009-61-6	对二乙酰苯	—	—	—	2.69 ± 0.40
57	1481/1488	14901-07-6	β -环柠檬烯酮	59.90 ± 43.40	—	—	1.88 ± 0.15
58	1484/1484	23267-57-4	β -紫罗兰酮环氧化物	71.65 ± 1.22	—	—	—
小计	酮类			370.48	726.36	10.04	14.55
59	1077/~	2511-91-3	戊基环丙烷	1 211.88 ± 22.89	—	—	—
60	1201/~	563-16-6	3,3-二甲基己烷	—	—	16.09 ± 4.17	—

续表 1

序号	RI ^a /RI ^b	CAS 号	名称	利川红茶		恩施绿茶	
				ρ (游离态挥发性物质)/ ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	ρ (键合态挥发性物质)/ ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	ρ (游离态挥发性物质)/ ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	ρ (键合态挥发性物质)/ ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)
61	1403/~	111-65-9	辛烷	—	—	10.62 ± 0.85	—
62	1504/~	17301-32-5	4,7-二甲基十一烷	—	—	5.36 ± 0.60	—
小计	烷烃类			1 211.88	0.00	32.07	0.00
63	990/981	127-91-3	β -蒎烯	58.83 ± 1.57	772.77 ± 74.96	—	—
64	996/~	13643-08-8	2,4-辛二烯	141.44 ± 4.10	—	—	—
65	1001/1010	138-86-3	α -柠檬烯	—	393.74 ± 48.60	—	—
66	1018/~	5989-27-5	柠檬烯	—	—	88.69 ± 10.49	2.81 ± 0.20
67	1038/1044	3779-61-1	β -反式环烯	232.29 ± 5.17	216.20 ± 19.87	—	—
68	1038/1016	13466-78-9	3-蒎烯	221.90 ± 9.29	—	—	43.17 ± 1.98
69	1047/1034	3338-55-4	β -顺式环烯	—	1 138.69 ± 118.80	—	—
70	1077/1075	7525-62-4	3-乙基苯乙烯	—	—	—	59.04 ± 3.37
71	1107/1086	108-57-6	1,3-二乙烯基苯	—	—	—	47.87 ± 3.24
72	1138/~	55771-40-9	2,4,6-三甲基-1-壬烯	57.94 ± 1.58	—	—	—
73	1141/~	2177-47-1	2-甲基蒈	—	—	—	215.21 ± 8.33
74	1156/~	275-51-4	甘菊蓝	—	75.06 ± 6.72	—	—
75	1162/~	21964-48-7	1,12-十三二烯	—	—	—	1.02 ± 0.18
76	1303/~	19888-34-7	6,7-环氧腐植酸	—	—	—	8.70 ± 0.31
小计	烯烃类			712.40	2 596.46	88.69	377.82
77	968/922	547-63-7	异丁酸甲酯	47.48 ± 17.91	—	—	—
78	976/~	112-23-2	甲酸庚酯	50.96 ± 17.27	—	—	—
79	1093/1094	93-58-3	苯甲酸甲酯	—	394.63 ± 15.16	—	56.84 ± 1.63
80	1163/1172	140-11-4	乙酸苄酯	54.66 ± 1.13	—	—	—
81	1192/1191	119-36-8	水杨酸甲酯	5 339.25 ± 129.38	17 794.65 ± 954.74	—	11.25 ± 0.53
82	1255/~	103-48-0	异丁酸苯乙酯	406.83 ± 78.34	—	—	—
83	1303/1283	1862-61-9	顺式香叶酸甲酯	118.95 ± 25.27	—	—	—
84	1311/1352	38404-42-1	3,4-二甲基苯甲酸甲酯	—	—	—	6.28 ± 1.92
85	1321/1310	2349-14-6	香叶酸甲酯	—	—	—	88.94 ± 7.05
86	1373/1373	74367-31-0	2-乙基-3-羟基己基-2-甲基丙酸酯	—	—	—	13.15 ± 1.35
87	1378/1383	105-87-3	乙酸香叶酯	45.90 ± 2.73	—	—	—
88	1386/1379	1754-62-7	(E)-肉桂酸甲酯	—	192.96 ± 36.34	—	15.33 ± 1.08
小计	酯类			6 064.03	18 382.24	0.00	191.79

a 为 RI 计算值, b 为文献 RI 值, 来源于 NIST 20 谱库; ~ 为无文献 RI 值; — 为未检出。

分析表 1 中数据发现, 利川红茶中游离态挥发性物质种类 (36 种) 与恩施绿茶中键合态挥发性物质种类 (45 种) 较多, 两种茶叶中有 20 种相同挥发性物质。

利川红茶中挥发性成分共 52 种, 包括醇类 (15

种)、芳香烃类 (2 种)、酚类 (2 种)、醛类 (7 种)、羧酸类 (3 种)、酮类 (5 种)、烷烃类 (1 种)、烯烃类 (8 种) 和酯类 (9 种); 其中游离态挥发性物质 36 种, 键合态挥发性物质 25 种。恩施绿茶中挥发性成分共 56 种, 包括醇类 (22 种)、芳香烃类 (3 种)、酚类 (2

种)、醛类(6种)、羧酸类(2种)、酮类(5种)、烷烃类(3种)、烯烃类(7种)、酯类(6种);其中游离态挥发性物质15种,键合态挥发性物质45种。两种茶叶中游离态和键合态挥发性物质在种类和含量上表现各异。

2.1.1 游离态挥发性物质分析

将利川红茶与恩施绿茶中游离态挥发性物质含量绘于图2。为直观描绘出各组分质量浓度与种类的关系,图2中纵坐标取各挥发性物质总质量浓度的自然对数。

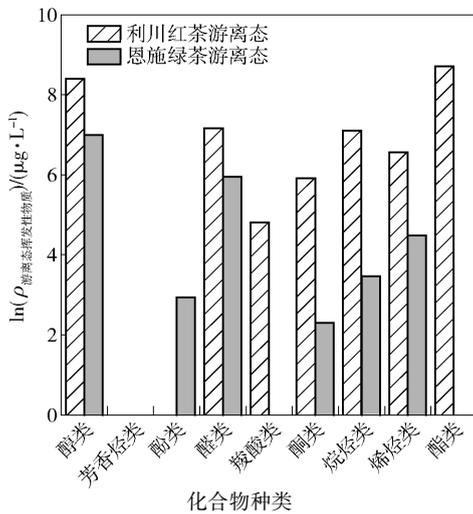


图2 利川红茶、恩施绿茶游离态挥发性物质对比

Fig. 2 Comparison of volatile substances for free forms in Lichuan black tea and Enshi green tea

利川红茶中游离态物质含量较高的有脱氢芳樟醇(2 241.56 $\mu\text{g/L}$)、2,6-二甲基-3,7-辛二烯-2,6-二醇(759.76 $\mu\text{g/L}$)、香叶醇(350.61 $\mu\text{g/L}$)、癸醇(310.54 $\mu\text{g/L}$)、 β -柠檬醛(346.17 $\mu\text{g/L}$)、1-环丙基戊烷(1 211.88 $\mu\text{g/L}$)、水杨酸甲酯(5 339.25 $\mu\text{g/L}$)和异丁酸苯乙酯(406.83 $\mu\text{g/L}$)。恩施绿茶中游离态物质含量较高的是橙花醇(87.75 $\mu\text{g/L}$)、癸醇(573.47 $\mu\text{g/L}$)、苯甲醛(252.25 $\mu\text{g/L}$)、辛醛(126.74 $\mu\text{g/L}$)、柠檬烯(88.69 $\mu\text{g/L}$)。两茶游离态物质有部分相同化合物,各含量存有差异,如苯乙醇、癸醇、苯甲醛和茉莉酮。

在两茶汤游离态挥发性物质中,醇类、醛类两类化合物的相对含量较高。利川红茶游离态挥发性物质中酯类物质含量最高,其中比例较高的为水杨酸甲酯。醇类物质含量低于酯类物质,这可能是由于在红茶发酵过程中,微生物产生的胞外酶水解糖苷类香气前体而生成了酯类物质所

致^[16]。而恩施绿茶游离态挥发性物质中醇类含量最高,醛类次之。考虑到 Strecker 醛源自游离氨基酸的 Strecker 降解,在高酸环境下会部分被氧化为羧酸,部分被还原为醇^[17],进而导致了醇类物质含量的增加。

2.1.2 键合态挥发性物质分析

将利川红茶与恩施绿茶中键合态挥发性物质质量浓度与种类的关系绘于图3,其处理方式同图2。

利川红茶中键合态挥发性物质含量较高的有:苯乙醇(1 506.47 $\mu\text{g/L}$)、 β -柠檬醛(2 390.96 $\mu\text{g/L}$)、 α -柠檬醛(14 297.78 $\mu\text{g/L}$)、橙花酸(1 754.00 $\mu\text{g/L}$)和水杨酸甲酯(17 794.65 $\mu\text{g/L}$)。而恩施绿茶中键合态挥发性物质含量较高的为:芳樟醇(141.81 $\mu\text{g/L}$)、丁基羟基甲苯(80.46 $\mu\text{g/L}$)、 β -柠檬醛(81.26 $\mu\text{g/L}$)、 α -柠檬醛(83.22 $\mu\text{g/L}$)、橙花酸(306.81 $\mu\text{g/L}$)、2-甲基茼(215.21 $\mu\text{g/L}$)、香叶酸甲酯(88.94 $\mu\text{g/L}$)含量较高。恩施绿茶中键合态种类较利川红茶的多但含量不高。

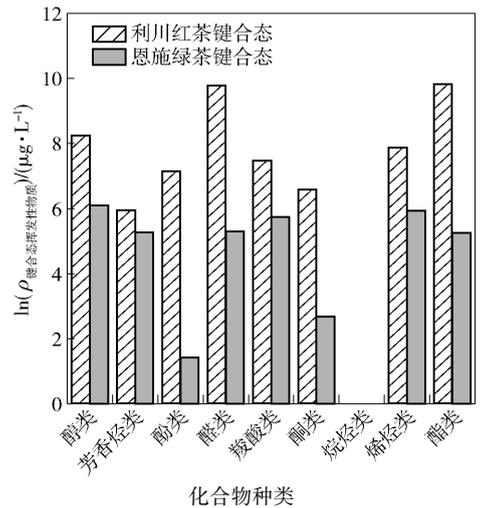


图3 利川红茶、恩施绿茶键合态挥发性物质对比

Fig. 3 Comparison of volatile substances for bound forms in Lichuan black tea and Enshi green tea

整体来看,利川红茶中键合态挥发性物质的种类及含量均高于恩施绿茶。两种茶叶中,醛类挥发性物质主要以 β -柠檬醛、 α -柠檬醛键合态形式存在,且含量较高。值得关注的是利川红茶中水杨酸甲酯在游离态挥发性物质和键合态挥发性物质中含量均较高。有文献报道^[18],随着红茶的发酵加工,水杨酸甲酯的含量会随着发酵程度的加重而增加,对增大红茶香气有重要作用。

利川红茶和恩施绿茶中挥发性物质组分及含量

的差异,可能源于两种茶不同的生产工艺。红茶在重度发酵加工过程中里面的多酚氧化酶、过氧化物酶、 β -葡萄糖苷酶以及脂肪氧合酶对红茶香气物质的形成及含量会有显著影响^[19]。总体而言,恩施绿茶挥发性物质种类多于利川红茶,但其组分含量相对较低。

2.2 游离态与键合态挥发性物质的 OAV 分析

结合表1通过筛选将检测到的88种化合物保留了41种具有显著香气特征的挥发性物质进行香气特征分析,两茶叶中挥发性物质的香气特征及香气活度值见表2。

由表2可知,利川红茶中具有明显香气特征的游离态挥发性物质有20种,主要为香叶醇、辛醛、(*Z*)-3-己烯醇、芳樟醇、 β -柠檬醛等;而键合态挥发性物质有19种,主要为水杨酸甲酯、 α -柠檬醛、芳樟醇、 β -柠檬醛。研究发现,浓度和香气活度值并不是成正比关系,如香叶醇,它在利川红茶游离态挥发性物质中的浓度(350.61 $\mu\text{g/L}$)并非最高,但由于它在水中的气味阈值较低,导致OAV高达3646,因此赋予利川红茶浓郁的花香,是对利川红茶香味贡献最大的游离态挥发性物质。在与其他红茶香气成分对比时发现,金骏眉主要香气成分为芳樟醇、水杨酸甲酯和香叶醇等,主要呈现花香;云南红茶代表滇红中主要的香气成分为苯乙醛、芳樟醇及水杨酸甲酯等,呈现出花香和果香;而祁红的主要香味物质为苯乙醛、水杨酸甲酯及香叶醇等,呈现出花香和蜜香^[20]。而利川红茶和以上几种红茶相比,其 β -柠檬醛、(*Z*)-3-己烯醇和辛醛的含量相对较高。这除了与茶树品种、加工工艺等有关外,也可能是由于武陵地区独特的地理环境、气候条件和土壤环境造成的。但各类红茶均表现出花香,表明同一类茶叶在不同地区生长表现出的香气总体相近。

恩施绿茶中具有明显香气特征的游离态挥发性物质有8种,其中辛醛和柠檬烯对茶叶香气具有明显的贡献;键合态挥发性物质有21种,其中芳樟醇、萜、 β -柠檬醛、 α -柠檬醛、1-庚醇和苯乙醇的OAV较高。恩施绿茶中游离态挥发性物质的主要香气物质来自辛醛(OAV为216),键合态挥发性物质中芳樟醇(OAV为24)。芳樟醇是茶叶中较重要的一类香气物质,其表现为令人愉悦的铃兰花香、木香以及果香,主要以糖苷的形式存在于茶叶中。恩施绿茶中香气的主要贡献物质辛醛使得恩施绿茶呈现出较为

浓郁的果香和化学味。而其他绿茶,洞庭碧螺春中主要为2-戊基呋喃和2,3-丁二酮,其香气主要特征为青气和清香^[21];汉中绿茶中主要香气贡献化合物为己醛、芳樟醇氧化物、芳樟醇、 α -紫罗酮、香叶醇和2-乙酰基噻唑等,主要呈现出较为浓郁的紫罗兰花香^[22]。

2.3 游离态与键合态挥发性物质整体风味评价

利川红茶、恩施绿茶香气特征雷达图见图4。由图4(a)可知,利川红茶整体呈现出较为浓厚的果香和花香。果香主要源于芳樟醇、香叶醇及辛醛等,同时它们也赋予了利川红茶花香;化学味的特征主要源于游离态的辛醛以及少量键合态物质苯乙酮等。利川红茶中也呈现一定的甜香和木香,但贡献值较低,它们赋予了利川红茶类似薄荷、柏木的香气特征。利川红茶中键合态较典型的香气特征是草香,主要是由水杨酸甲酯和 α -柠檬醛贡献。

由图4(b)可知,恩施绿茶主要呈现果香和化学味,和利川红茶相比恩施绿茶的各种香气味均较弱,但总体香气轮廓大致相似。恩施绿茶中的草香主要是由键合态挥发性物质贡献。恩施绿茶中键合态挥发性物质贡献的香气要稍大于游离态挥发性物质提供的香气,与利川红茶中香气贡献相反。

从图4也可以看出游离态挥发性物质对利川红茶香气贡献较大。由于游离态挥发性物质贡献而呈现的香气可直接通过感官感受得到,键合态挥发性物质则需通过水解或酶解释放,从而可以合理地解释人们直接闻到的利川红茶香气比恩施绿茶更加浓郁。

2.4 利川红茶和恩施绿茶中挥发性物质含量分布分析

利川红茶和恩施绿茶中挥发性物质的分布情况见图5。通过图5中各代表物质颜色深浅并经综合比较可以看出,利川红茶中,醇类、酯类及醛类物质含量较高,酚类、芳香烃类物质含量较低;恩施绿茶中挥发性物质种类少且含量低,两种茶中游离态和键合态物质分布不一样。茶叶中挥发性物质在形成过程中可能经过一定的生物合成途径,后期的加工工艺也会对挥发性物质的种类及含量造成影响^[23],茶叶加工干燥环节,若温度过低,挥发性物质中脂肪族醇醛类物质的含量就会较高,反之,芳香族醇类和萜烯醇类含量上升,温度的高低可能会直接导致红茶中挥发性醇类、醛类和酯类物质含量的变化^[18]。

表2 利川红茶、恩施绿茶挥发性成分香气特征及香气活度值

Tab.2 Aroma characteristics and OAV of volatile components in Lichuan black tea and Enshi green tea

序号	CAS号	名称	OT值	香气描述	香气分类	利川红茶中挥发		恩施绿茶中挥发	
						性物质 OAV		性物质 OAV	
						游离态	键合态	游离态	键合态
1	928-96-1	叶醇	3.9	蔬菜、药草香	草香	48	—	—	—
2	111-70-6	1-庚醇	5.4	草本香	草香	—	—	—	2
3	1569-60-4	6-甲基-5-庚烯-2-醇	2 000	甜香、香菜味	甜香、草香	—	—	—	<1
4	104-76-7	2-乙基-1-己醇	124	柑橘香、甜香	果香、甜香	—	—	—	<1
5	100-51-6	苯甲醇	2 546.2	玫瑰香、酚香	花香、化学味	<1	<1	—	—
6	18409-17-1	(E)-2-辛烯-1-醇	20	柑橘香、蔬菜香	果香、草香	—	—	—	<1
7	34995-77-2	(E)-氧化芳樟醇	190	醚样气味	化学味	<1	—	—	<1
8	5989-33-3	(Z)-氧化芳樟醇	100	花香、木香	花香、木香	—	5	—	—
9	78-70-6	芳樟醇	6	玫瑰花香、木香、蓝莓香	花香、木香、果香	41	68	—	24
10	60-12-8	苯乙醇	564.23	玫瑰花香	花香	<1	3	<1	<1
11	143-08-8	壬醇	45.5	玫瑰花香	花香	—	—	—	1
12	10482-56-1	L- α -松油醇	9 180	丁香花香	花香	—	—	—	<1
13	106-24-1	香叶醇	6.6	玫瑰香、柑橘香	花香、果香	3 646	—	—	—
14	106-25-2	橙花醇	1 440	玫瑰香、柑橘香	花香、果香	—	25	<1	—
15	112-30-1	癸醇	1 787.5	蜡香、甜香、花香、果香	花香、果香、甜香	<1	—	<1	—
16	91-20-3	萘	6.0	辛辣、煤焦油	化学味	—	39	—	19
17	91-57-6	β -甲基萘	3.0	花香、木香	花香、木香	—	50	—	—
18	128-37-0	丁基羟基甲苯	1 000	樟脑味	化学味	—	—	—	<1
19	499-75-2	香芹酚	2 290	香料香、樟脑味、麝香草香	草香、化学味	—	<1	—	—
20	96-76-4	2,4-二叔丁基苯酚	500	化学味	化学味	—	2	<1	—
21	100-52-7	苯甲醛	750.89	甜香、苦杏仁香、樱桃香	甜香、果香	<1	1	<1	<1
22	124-13-0	辛醛	0.587	醛香、糯香、柑橘香、橘皮香	化学味、果香	393	—	216	—
23	122-78-1	苯乙醛	6.3	三叶草味、风信子香	草香、花香	25	—	—	—
24	432-25-7	β -环柠檬醛	5.0	玫瑰花香、果香	花香、果香	17	—	—	—
25	106-26-3	β -柠檬醛	53.0	柠檬皮香	果香	40	45	—	2
26	141-27-5	α -柠檬醛	37.0	柑橘香、柠檬香	果香	—	386	—	2
27	112-05-0	壬酸	680	奶酪香	甜香	—	—	—	<1
28	98-86-2	苯乙酮	65.0	辛辣、山楂香	化学味、果香	—	11	—	<1
29	14901-07-6	β -环柠檬烯酮	3.5	花香、果香、木香、蜂蜡香	花香、果香、木香、甜香	17	—	—	<1
30	111-65-9	辛烷	10 000	汽油味	化学味	—	—	<1	—
31	127-91-3	β -蒎烯	140	松树香	木香	<1	6	—	—
32	138-86-3	α -柠檬烯	200	柑橘香、草本香、樟脑味	果香、草香、化学味	—	2	—	—
33	5989-27-5	柠檬烯	34	柑橘香	果香	—	—	3	<1
34	3779-61-1	β -反式环烯	34	甘草香	草香	7	6	—	—
35	13466-78-9	3-蒎烯	770	柑橘香、柏木香	果香、木香	<1	—	—	<1
36	3338-55-4	β -顺式环烯	55.0	草香、花香	草香、花香	—	3	—	—
37	547-63-7	异丁酸甲酯	7.0	苹果香	果香	7	—	—	—
38	93-58-3	苯甲酸甲酯	73	酚醛、杏仁花香	化学味、花香	—	5	—	<1
39	140-11-4	乙酸苜酯	364	茉莉花香	花香	<1	—	—	—
40	119-36-8	水杨酸甲酯	40.0	冬青叶、薄荷香	草香	28	445	—	<1
41	105-87-3	乙酸香叶酯	150	玫瑰香	花香	<1	—	—	—

挥发性物质的香气描述根据 <http://www.thegoodscentscompany.com/> 网站查询。OT值指化合物在水中的阈值($\mu\text{g/L}$)；OAV > 1 时，表示该物质对茶汤香气有贡献，—表示无影响。

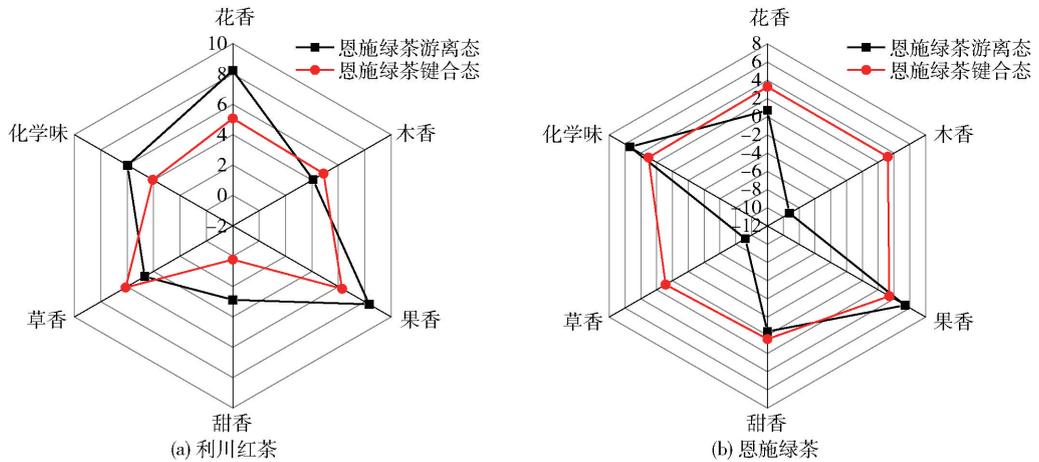


图4 利川红茶、恩施绿茶香气特征雷达图

Fig. 4 Radar chart of volatile substances in Lichuan black tea and Enshi green tea

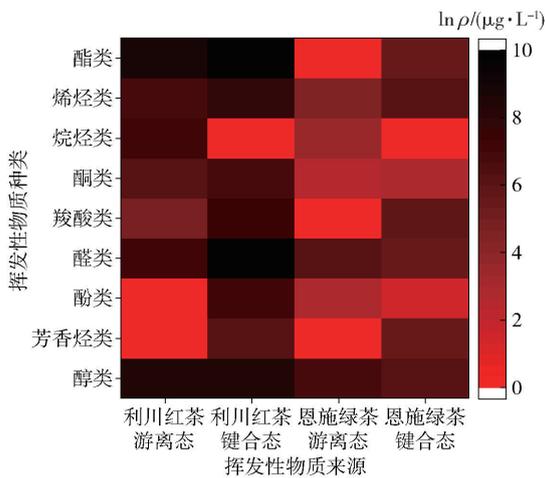


图5 利川红茶、恩施绿茶挥发性物质分布

Fig. 5 Distribution of volatile substances in Lichuan black tea and Enshi green tea

3 结论

本研究主要是对利川红茶和恩施绿茶的游离态和键合态挥发性物质进行了提取、分离,并对各挥发性物质种类、含量及香气成分进行了对比研究。在HS-SPME提取的基础上结合GC-MS分析鉴定,共检测出利川红茶挥发性成分52种,绿茶挥发性成分56种,其中相同的化合物有20种。对两种茶叶香气特征分析发现利川红茶中的香气成分较恩施绿茶丰富,主要香气物质为香叶醇、芳樟醇、水杨酸甲酯、 α -柠檬醛、 β -柠檬醛和辛醛等,它们赋予了利川红茶浓郁花香和果香;恩施绿茶中,芳樟醇、辛醛、苯乙醇、 α -柠檬醛、 β -柠檬醛、柠檬烯含量较高,它们赋予了恩施绿茶化学味和果香。利川红茶和恩施绿茶游

离态和键合态挥发性物质种类、含量及香气特征有一定差异,这种差异提示我们在后续的工作中将着重研究茶叶中挥发性物质的形成机制及呈香物质的工作原理,继续探讨地理环境、加工工艺对茶叶风味物质的影响。

参考文献:

[1] 余志,郭栓喜,李琛,等. 恩施玉露茶机械化加工做形工艺的优化[J]. 华中农业大学学报, 2016, 35(1): 126-130.
YU Z, GUO S X, LI C, et al. Optimizing mechanical shaping process of Enshi Yulu green tea [J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2016, 35(1): 126-130.

[2] ISLAM M A, RYU K Y, KHAN N, et al. Determination of the volatile compounds in five varieties of *Piper betle* L. from Bangladesh using simultaneous distillation extraction and gas chromatography/mass spectrometry (SDE-GC/MS) [J]. Analytical Letters, 2020, 53(15): 2413-2430.

[3] KAYA D A, GHICA M V, DĂNILĂ E, et al. Selection of optimal operating conditions for extraction of *Myrtus communis* L. essential oil by the steam distillation method [J]. Molecules, 2020, 25(10): 2399.

[4] LIU S Q, HUANG Y Q, QIAN C Y, et al. Physical assistive technologies of solid-phase microextraction: recent trends and future perspectives [J]. TrAC Trends in Analytical Chemistry, 2020, 128: 115916.

[5] 邓红,王小宏,贺小化,等. 榨前分离苹果清汁中香气成分分析[J]. 食品科学技术学报, 2013, 31(5): 18-23.
DENG H, WAGN X H, HE X H, et al. Aroma compo-

- nents analysis for apple juice of cold-extracting fruit [J]. *Journal of Food Science and Technology*, 2013, 31(5): 18–23.
- [6] 李丽,张英秀,赵日杂,等. 基于GC-MS代谢组学的云南紫菀和臭蚤草的多元统计分析及抑菌活性研究[J]. *药学学报*, 2021, 56(11): 3118–3129.
- LI L, ZHANG Y X, ZHAO R Z, et al. Multivariate statistical analysis based on GC-MS metabolomics and antibacterial activity of *Aster yunnanensis* and *Pulicaria insignis* [J]. *Acta Pharmaceutica Sinica*, 2021, 56(11): 3118–3129.
- [7] 郑宇,赵翠梅,吴亚楠,等. 山西老陈醋风味物质组成特征及风味轮分析[J]. *食品科学技术学报*, 2019, 37(4): 24–34.
- ZHENG Y, ZHAO C M, WU Y N, et al. Composition of characteristic flavor components and analysis of flavor wheel for Shanxi aged vinegar [J]. *Journal of Food Science and Technology*, 2019, 37(4): 24–34.
- [8] YU A N, YANG Y N, YANG Y, et al. Free and bound aroma compounds of turnjube (*Hovenia acerba* Lindl.) during low temperature storage [J]. *Foods*, 2020, 488(9): 1–18.
- [9] CAI J S, ZHU Y Y, MA R H, et al. Effects of roasting level on physicochemical, sensory, and volatile profiles of soybeans using electronic nose and HS-SPME-GC-MS [J]. *Food Chemistry*, 2021, 340: 127880–127890.
- [10] 高婷婷,孙洁雯,杨克玉,等. SDE-GC-MS分析鲜山楂果肉中的挥发性成分[J]. *食品科学技术学报*, 2015, 33(3): 22–27.
- GAO T T, SUN J W, YANG K Y, et al. Analysis of volatile components in fresh hawthorn by SDE-GC-MS [J]. *Journal of Food Science and Technology*, 2015, 33(3): 22–27.
- [11] 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(11): 193–196.
- SU X G, JIANG Y M, WANG X H, et al. Application of solid phase microextraction on the Oolong tea (*Camellia sinensis* cv. Fenghuangdancong) aroma analysis [J]. *Food Science*, 2005(11): 193–196.
- [12] 陈熠敏,何洪,王远兴. 靖安白茶与安吉白茶特征香气成分的比较[J]. *南昌大学学报(理科版)*, 2015, 39(6): 573–578.
- CHEN Y M, HE H, WANG Y X. Comparisons of characteristic aroma components of Jing'an white tea and Anji white [J]. *Journal of Nanchang University (Natural Science)*, 2015, 39(6): 573–578.
- [13] 刘建军,黄建安,李美凤,等. 信阳毛尖与黄山毛峰及西湖龙井的香气成分分析[J]. *湖南农业大学学报(自然科学版)*, 2016, 42(6): 658–662.
- LIU J J, HUANG J A, LI M F, et al. Analysis on aroma components of Xinyangmaojian tea and Huangshanmaofeng tea and Xihulongjing tea [J]. *Journal of Hunan Agricultural University (Natural Sciences)*, 2016, 42(6): 658–662.
- [14] 梁森,杨艳,石嘉悦,等. 酶/酸水解毛叶木姜子中键合态香味成分的比较[J]. *精细化工*, 2020, 37(5): 989–996.
- LIANG M, YANG Y, SHI J Y, et al. Comparison of enzymatic and acid hydrolysis of bound aroma compounds in *Litsea mollis* Hemsl [J]. *Fine Chemicals*, 2020, 37(5): 989–996.
- [15] VAN GEMERT L J. Compilations of odour threshold values in air, water and other media [M]. Utrecht: Oliemans Punter & Partners BV, 2006: 207–359.
- [16] XU X Q, MO H Z, YAN M C, et al. Analysis of characteristic aroma of fungal fermented Fuzhuan brick-tea by gas chromatography/mass spectrophotometry [J]. *Journal Science Food Agriculture*, 2007, 87(8): 1502–1504.
- [17] WEN Y Q, HE F, ZHU B Q, et al. Free and glycosidically bound aroma compounds in cherry (*Prunus avium* L.) [J]. *Food Chemistry*, 2014, 152(6): 29–36.
- [18] 俞露婷,袁海波,王伟伟,等. 红茶发酵过程生理生化变化及调控技术研究进展[J]. *中国农学通报*, 2015, 31(22): 263–269.
- YU L T, YUAN H B, WANG W W, et al. Research progress of physiological and biochemical changes and new techniques in fermentation of black tea [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2015, 31(22): 263–269.
- [19] WANG L F, LEE J Y, CHUNG J O, 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.
- [20] 方维亚,陈萍. 不同地区红茶特异性香气成分比较研究[J]. *茶叶*, 2014, 40(3): 138–145.
- FANG W Y, CHEN P. Comparative study on characteristic aroma components of Black teas from different regions [J]. *Journal of Tea*, 2014, 40(3): 138–145.
- [21] 陈合兴. 碧螺春茶特征香气成分研究[D]. 上海: 上海应用技术学院, 2016.
- CHEN H X. Characteristic aroma components of biluo-

- chun tea [D]. Shanghai: Shanghai Institute of Technology, 2016.
- [22] 张晨. 汉中红茶和绿茶中风味物质研究 [D]. 汉中: 陕西理工大学, 2019.
- ZHANG C. Study on flavor substances of black tea and green tea in Hanzhong [D]. Hanzhong: Shaanxi University of Technology, 2019.
- [23] 孙灵湘,董明辉,顾俊荣,等. 典型名优绿茶香气化学研究进展 [J]. 食品科学技术学报, 2019, 37(1): 62-71.
- SUN L X, DONG M H, GU J J, et al. Research progress in flavor chemistry of famous green teas [J]. Journal of Food Science and Technology, 2019, 37(1): 62-71.

Comparative Study of Free and Bound Volatile Components in Lichuan Black Tea and Enshi Green Tea

ZHAO Shilan, JIANG Ke, LIANG Miao, LIU Shuangshuang, FENG Liang, YANG Yan*, YU Ainong
(School of Chemistry & Environmental Engineering/Hubei Key Laboratory of Biological Resources Protection and Utilization, Hubei Minzu University, Enshi 445000, China)

Abstract: The kinds and contents of free and bound volatile substances in Lichuan black tea and Enshi green tea, which are unique to Enshi, Hubei province, Wuling area, were studied by headspace solid-phase microextraction technology combined with gas chromatography-mass spectrometry. A total of 52 volatile compounds were detected in Lichuan black tea, including 36 free aroma compounds and 25 bound aroma compounds. Among them, 9 compounds were both detected in free and bound samples. While, a total of 56 volatile compounds was detected in Enshi green tea, including 15 free forms and 45 bound forms. Among them, there were 4 identical compounds. Meanwhile, the odor activity values were analyzed in two different teas. Aldehydes, alcohols and esters were the most valuable components contributed to the flavor profile of Lichuan black tea. Aldehydes, alcohols and olefins were the most valuable components contributed to the flavor profile of Enshi green tea. The results showed that geraniol and caprylic aldehyde were the main aroma substances in free forms of Lichuan black tea. Methyl salicylate, α -citral and linalool were the major aromatic components in bound forms. The octanal and limonene were the major aroma components for free forms in Enshi green tea. And the linalool and naphthalene were the main aroma components in bound forms. Fruity and floral aroma were the main aroma characteristics of Lichuan black tea, fruity and chemical odor were the major characteristics of Enshi green tea. The phenols and carboxylic acids in the free volatile components of Lichuan black tea and Enshi green tea were significantly different, and phenols and ketones in the bound volatile components were quite different. This study hoped to provide a reference for elaborating the composition of tea aroma and the generation of flavor substances, and at the same time, it would provide references for the deep processing and quality control of Lichuan black tea and Enshi green tea.

Keywords: Lichuan black tea; Enshi green tea; free form; bound form; volatile compounds

(责任编辑:李 宁)