

6 种不同香型白茶香气成分的 GC-MS 分析

傅海峰^{1,2}, 林琼珍¹, 朱 晨^{1,4}, 唐雅弦¹, 李小桢^{1,2}, 陈 兰¹,
周承哲^{1,2}, 欧阳明秋^{1,2}, 赖钟雄^{1,4}, 郭玉琼^{*1,2,3}

(1. 福建农林大学 园艺学院, 福建 福州 350002; 2. 福建农林大学 中国白茶研究所, 福建 福州 350002;
3. 茶学福建省高等学校重点实验室, 福建 福州 350002; 4. 福建农林大学 园艺植物生物工程研究所, 福建 福州 350002)

摘要: 采用顶空进样结合气相色谱-质谱法(GC-MS)测定青草香型、花香型、毫香型、粽叶香型、枣香型和药香型 6 种香型白茶的香气成分。利用聚类分析法与主成分分析法,分析 6 种不同香型白茶的香气成分差异。结果表明,6 种不同香型白茶共检测出 48 种香气成分。其中,青草香型白茶以芳樟醇、1-戊烯-3-醇、己醛、顺-3-己烯醇和 2-甲基丁醛等为主要特征成分;花香型白茶以芳樟醇、1-戊烯-3-醇、己醛、2-甲基丁醛和香叶醇等为主要特征成分;毫香型白茶以芳樟醇、1-戊烯-3-醇、2-甲基丁醛、己醛和香叶醇等为主要特征成分;粽叶香型白茶以 1-戊烯-3-醇、2-甲基丁醛、己醛、芳樟醇和 2-乙基呋喃等为主要特征成分;枣香型白茶以 1-戊烯-3-醇、2-甲基丁醛、己醛、芳樟醇和顺-3-己烯醇等为主要特征成分;药香型白茶以 1-戊烯-3-醇、2-甲基丁醛、芳樟醇、己醛和 2-乙基呋喃等为主要特征成分。聚类分析将 6 种香型白茶分为两大类型,青草香型、毫香型和花香型聚为一类,而粽叶香型、枣香型和药香型聚为另一类。其中 1-戊烯-3-醇和芳樟醇是区分 6 种不同白茶香型的重要香气组分。

关键词: 白茶; 香型; 香气成分; 气相色谱-质谱法(GC-MS)

中图分类号: S 609 文章编号: 1673-1689(2020)10-0091-07 DOI: 10.3969/j.issn. 1673-1689.2020.10.012

GC-MS Analysis of Aroma Components of White Tea with Six Different Aroma Types

FU Haifeng^{1,2}, LIN Qiongzhen¹, ZHU Chen^{1,4}, TANG Yaxian¹, LI Xiaozhen^{1,2}, CHEN Lan¹,
ZHOU Chengzhe^{1,2}, OUYANG Mingqiu^{1,2}, LAI Zhongxiong^{1,4}, GUO Yuqiong^{*1,2,3}

(1. College of Horticulture, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China; 2. Institute of China White Tea, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China; 3. Key Laboratory of Tea Science in Universities of Fujian Province, Fuzhou 350002, China; 4. Institute of Horticultural Biotechnology, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China)

Abstract: Headspace sampling combined with gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) was used to determine the aroma components of six aroma types of white teas including grassy aroma, floral aroma, pekoe aroma, reed leaf aroma, jujube aroma and medicinal aroma. Their

收稿日期: 2019-01-05

基金项目: 福建省重大科技专项 (2015NZ0002-1); 福建省自然科学基金项目 (2018J01701); 福建农林大学科技创新专项基金项目 (CXZX2018069); 福建农林大学乡村振兴茶产业技术服务项目 (11899170102)。

* 通信作者: 郭玉琼(1974—),女,博士,副教授,主要从事茶树生物技术与茶叶生物化学研究。E-mail: guoyq828@163.com

differences were analyzed by cluster analysis and principal component analysis. There were totally 48 kinds of aroma substances identified in six aroma types. The main characteristic components of grassy aroma were linalool, 1-penten-3-ol, hexanal, (Z)-3-hexen-1-ol and 2-methyl-1-butanol. The floral aroma was composed of linalool, 1-penten-3-ol, hexanal, 2-methyl-1-butanol and geraniol. Linalool, 1-penten-3-ol, 2-methyl-1-butanol, hexanal and geraniol were the main components of pekoe aroma. The reed leaf aroma components were mainly characterized by 1-penten-3-ol, 2-methyl-1-butanol, hexanal, linalool and 2-ethylfuran. And the main characteristic components of jujube aroma were 1-penten-3-ol, 2-methyl-1-butanol, hexanal, linalool and (Z)-3-hexen-1-ol. The main components of medicine aroma were 1-penten-3-ol, 2-methyl-1-butanol, linalool, hexanal and 2-ethylfuran. Six types of white tea aroma were divided into two categories by cluster analysis. Grassy aroma, floral aroma and pekoe aroma were clustered in one category, while reed leaf aroma, jujube aroma and medicinal aroma belong to another. Among all the aroma components, 1-penten-3-ol and linalool are important aroma components for distinguishing the different aroma types of white tea.

Keywords: white tea, aroma type, aroma component, gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS)

白茶是中国的六大茶类之一,因其外形满披白毫、汤色清澈明亮、滋味清鲜回甘,广受消费者的好评^[1]。白茶加工工艺简易,仅有萎凋和干燥两道工序,但其富含活性成分,具有抗氧化等多种功效^[2-4]。近几年来,白茶越来越受消费者的欢迎^[5],茶叶市场上出现了各种类型的白茶产品,除了传统的白毫银针、白牡丹、贡眉和寿眉等传统型白茶,还出现了花香型白茶、紧压白茶、金花白茶、颗粒白茶和 γ -氨基丁酸白茶等创新型白茶^[6],通过工艺的改进不仅提高和丰富了白茶的风味品质,而且促使白茶的风味品质受到更多关注。

茶叶的品质主要由外形、香气、滋味、汤色等因素构成,其中茶叶的香气由“挥发性物质”组成。目前已鉴定出 11 大类共 600 多种挥发性化合物,这些化合物仅占茶叶干物质质量的 0.01% 左右^[7-8]。茶叶中的挥发性物质种类和含量的多种组合,形成了茶叶多种多样的香气类型^[9]。茶叶的香气特征受到品种、产地以及加工技术等多方面因素的影响,不同茶叶之间的香气有较大的差异性^[10]。香气在白茶感官审评中的评分系数为 25%,是衡量白茶风味品质差异的重要影响因素^[11]。白茶不同于其他茶类,独特工艺不仅形成了独特的滋味特征,也形成了独特的香气特征。新白茶有毫香型、花香型、青草香型、

清香型和嫩香型等香型;陈年老白茶则具有枣香型、药香型、粽叶香型和梅子香型等香型^[12]。

CHEN Yang 等^[13]比较了白毫银针、白牡丹和寿眉 3 个不同等级白茶的香气前体物质含量;丁珂等^[14]分析了白毫银针、白牡丹、贡眉和寿眉 4 个不同等级白茶的香气组分特征,表明白牡丹的香气含量最高;刘琳燕等^[15]研究了白毫银针、白牡丹和寿眉 3 个不同等级白茶不同年份的香气成分,表明随着贮藏年份的增加,陈年白茶的陈香特征逐渐显现;陈维等^[16]以“英红 9 号”为原料,探讨白茶萎凋过程中的香气变化,表明香气总量随萎凋时间的延长先增加后减少,在 24 h 达到最高含量,不同的萎凋时间均以醇类化合物占比最高;WANG Yu 等^[17]以“鄂茶 1 号”为原料,研究白茶萎凋过程中的香气变化及相关基因的表达,结果表明香气物质含量在 48 h 含量达到最高。CHEN Qincan 等^[18]研究白茶萎凋过程中白茶香气的形成,发现香气前体物质游离氨基酸和糖基结合对白茶特征香气的形成有重要作用。QI Dandan 等^[19]通过与自然陈放的老白茶和新鲜白茶的比较,发现以 45~50 °C 温度条件贮藏白茶,能够有效加速白茶陈化,形成具有草药特征香型的白茶。迄今为止,有关不同香型白茶的特征性香气组分鉴定与分析的研究较少,作者研究选取福鼎白茶

6种代表性香型,分别是花香型、毫香型、青草香型、枣香型、药香型和粽叶香型为供试材料,采用顶空进样和气相色谱-质谱法(GC-MS),鉴定6种不同香型白茶的主要香气成分,分析不同香型白茶的特异性香气成分,以期研究不同香型白茶的香气形成机制提供理论依据与参考。

1 材料与方法

1.1 供试材料与试剂

试验材料包括青草香型白茶(2017年白牡丹),编号T1;花香型白茶(2017年白牡丹),编号T2;毫香型白茶(2016年白毫银针),编号T3;粽叶香型白茶(2014年寿眉),编号T4;枣香型白茶(2013年寿眉),编号T5;药香型白茶(2012年白牡丹),编号T6,共6种不同香型的白茶,由福建清铎茶业股份有限公司提供。参照GB/T 14487-2017茶叶感官审评方法,进行密码审评。

1.2 试验仪器

气相色谱-质谱联用仪(Clarius S Q 8个):美国PerkinElmer公司产品。

1.3 试验方法

香气成分测定参照王丽丽等^[20]方法并进行改进。茶叶磨碎,过40目筛。分别称取6种不同香型白茶样品1.000 0 g,放入干净顶空瓶,加入蒸馏水4 mL,加盖密封。

顶空条件:炉温85℃,取样针100℃,传输线温度120℃,样品平衡30 min,捕集阱高280℃,低40℃,保持5 min,干吹1 min,解析0.5 min。顶空出口分流。

GC条件:Elite-FFAP色谱柱(30 m×0.25 mm×0.25 mm);进样口温度250℃;载气(He),纯度>99.999%;升温程序:柱温起始50℃,保持1 min,以5℃/min升至180℃,保持5 min,再以10℃/min升至230℃,保持8 min,总运行时间为45 min。

MS条件:电子轰击(EI)离子源;相对质量扫描范围为45~500,溶剂延迟时间0.05 min。

1.4 数据处理

对总离子流量图中的各峰质谱图进行NIST 11标准谱库检索,参照相关的白茶香气文献^[20]报道并依据特征离子、相对丰度、保留时间等条件进行质谱匹配度比对。再利用面积归一化法计算香气成分的相对含量(组分峰面积占总峰面积的百分比)^[21]。运用Excel2016、SPSS22和SIMCA-P13软件进行多元统计学分析^[22-23]。

2 结果与分析

2.1 6种香型白茶香气成分鉴定与分析

试验从6种不同香型白茶中共鉴定出48种香气成分,见表1。其中,青草香型白茶鉴定出47种香气成分,花香型白茶鉴定出46种香气成分,毫香型白茶鉴定出44种香气成分,而粽叶香型白茶鉴定出29种香气成分,枣香型白茶鉴定出41种香气成分,药香型白茶鉴定出28种香气成分。48种香气成分的种类包括醇类化合物、碳氢类化合物、醛类化合物、呋喃类化合物以及其他类化合物(吡喃、酯类和酮类化合物等),醇类化合物所占比例在6种不同香型白茶中均为最高。

表1 6种香型白茶的主要香气组分

Table 1 The main aroma components of 6 types aromas of white tea

质量分数/%

编号	香气组分	青草香型	花香型	毫香型	粽叶香型	枣香型	药香型
1	1-戊烯-3-醇	11.87	18.59	27.41	39.71	32.82	46.64
2	4-戊烯醇	2.10	2.17	0.00	0.00	2.98	0.00
3	戊醇	0.37	0.24	0.00	0.00	0.00	0.00
4	2-甲基丁醇	1.10	1.03	1.21	0.61	2.22	0.31
5	1-庚烯-3-醇	0.14	0.10	0.11	0.00	0.12	0.48
6	顺-3-己烯醇	6.67	3.79	1.82	0.00	4.01	0.24
7	己醇	2.29	0.64	0.40	0.70	1.54	0.00
8	苯甲醇	1.28	1.35	1.15	2.26	1.69	1.39
9	庚醇	0.42	0.29	0.13	0.00	0.40	0.00
10	顺-3-辛烯-1-醇	0.45	0.25	0.19	0.27	0.38	0.22
11	紫苏醇	0.14	0.39	0.39	0.76	0.19	1.52

续表 1

编号	香气组分	青草香型	花香型	毫香型	棕叶香型	枣香型	药香型
12	反式芳樟醇氧化物	1.65	1.03	0.36	1.13	1.18	0.52
13	顺式芳樟醇氧化物	1.22	2.12	0.57	1.47	1.18	0.79
14	芳樟醇	26.97	36.92	33.12	3.52	7.04	6.56
15	香芹醇	0.59	0.00	0.00	0.24	0.89	0.00
16	苯乙醇	1.68	1.46	2.82	0.00	0.26	0.00
17	壬醇	0.18	0.10	0.00	0.00	0.19	0.00
18	香叶醇	1.89	3.86	3.01	0.06	1.19	0.04
19	庚烷	0.62	0.49	0.57	0.83	1.19	0.71
20	1,5-癸二炔	0.44	0.46	0.42	0.75	0.25	0.00
21	1,2,3,4,5,8-六氢萘	0.77	0.00	1.57	0.00	0.00	0.00
22	(E)-2,6-二甲基-1,3,5,7-辛四烯	0.30	0.19	0.28	0.00	0.00	0.00
23	D-柠檬烯	0.57	0.40	0.15	0.89	0.40	0.39
24	γ -萜品烯	0.25	0.43	0.22	0.37	0.23	0.19
25	十四烷	0.13	0.07	0.11	0.00	0.00	0.00
26	十五烷	0.12	0.03	0.09	0.00	0.00	0.00
27	十六烷	0.13	0.12	0.10	0.00	0.17	0.00
28	紫罗兰烯	0.22	0.11	0.06	0.45	0.22	0.11
29	十七烷	0.09	0.01	0.06	0.00	0.00	0.00
30	雪松烯	0.02	0.03	0.05	0.00	0.00	0.00
31	十九烷	0.08	0.06	0.04	0.19	0.08	0.16
32	α -依兰烯	0.00	0.07	0.03	0.34	0.13	0.42
33	2-甲基丁醛	5.38	4.53	4.04	20.86	12.48	16.10
34	2-乙基戊烯醛	0.33	0.44	1.28	0.00	0.57	0.61
35	顺式-4-庚烯醛	0.57	0.29	0.35	0.00	0.24	0.00
36	己醛	10.21	4.56	3.27	5.45	7.08	5.51
37	顺-2-己烯醛	0.44	0.00	0.03	1.89	1.18	0.87
38	庚醛	0.94	0.24	0.22	0.43	0.80	0.24
39	辛醛	0.67	0.55	0.44	0.19	0.98	0.00
40	苯乙醛	0.60	0.42	0.37	0.93	0.56	0.24
41	β -柠檬醛	0.30	0.10	0.06	0.30	0.16	0.00
42	2-乙基呋喃	4.23	3.41	2.81	2.58	2.33	3.05
43	2-戊基呋喃	1.15	1.41	2.00	0.84	1.18	0.97
44	顺-2-(2-戊烯基)呋喃	0.18	0.50	0.43	0.00	0.23	0.19
45	己酸甲酯	0.23	0.15	0.11	0.00	0.12	0.00
46	水杨酸甲酯	0.30	0.53	0.22	0.00	0.13	0.00
47	2,6,6-三甲基环己酮	0.24	0.16	0.11	1.01	0.33	0.33
48	异佛尔酮	0.49	0.37	0.33	0.76	0.57	0.19

2.1.1 青草香型白茶主要香气成分 青草香型白茶鉴定出 47 种主要香气成分,包括 18 种醇类化合物,占挥发物总量的 61%;13 种碳氢类化合物,占挥发物总量 3.75%;9 种醛类化合物,占挥发物总量的 19.44%;7 种其他类化合物,占挥发物总量的

6.83%。其中相对质量分数较高的依次为芳樟醇、1-戊烯-3-醇、己醛、顺-3-己烯醇、2-甲基丁醛、2-乙基呋喃、己醇、4-戊烯醇、香叶醇和苯乙醇,分别为 26.97%、11.87%、10.21%、6.67%、5.38%、4.23%、2.29%、2.10%、1.89%和 1.68%。

2.1.2 花香型白茶主要香气成分 花香型白茶鉴定出 46 种主要香气成分,包括 18 种醇类化合物,占挥发物总量的 74.35%;13 种碳氢类化合物,占挥发物总量的 2.47%;8 种醛类化合物,占挥发物总量的 11.11%;7 种其他类化合物,占挥发物总量的 6.53%。其中相对质量分数较高的是芳樟醇、1-戊烯-3-醇、己醛、2-甲基丁醛、香叶醇、顺-3-己烯醇、2-乙基呋喃、4-戊烯醇和顺式芳樟醇氧化物,分别为 36.92%、18.59%、4.56%、4.53%、3.86%、3.79%、3.41%、2.17%和 2.12%。

2.1.3 毫香型白茶主要香气成分 毫香型白茶鉴定出 44 种主要香气成分,包括 14 种醇类化合物,占挥发物总量的 72.69%;14 种碳氢类化合物,占挥发物总量的 3.75%;9 种醛类化合物,占挥发物总量的 10.06%;7 种其他类化合物,占挥发物总量的 5.99%。其中相对含量较高的是芳樟醇、1-戊烯-3-醇、2-甲基丁醛、己醛、香叶醇、苯乙醇、2-乙基呋喃、2-戊基呋喃、顺-3-己烯醇和 1,2,3,4,5,8-六氢萘,相对质量分数分别为 33.12%、27.41%、4.04%、3.27%、3.01%、2.82%、2.81%、2.00%和 1.82%。

2.1.4 粽叶香型白茶主要香气成分 粽叶香型白茶鉴定出 29 种香气成分,其中醇类化合物 11 种,占挥发物总量 50.79%;碳氢类化合物 7 种,占挥发物总量 3.82%;醛类化合物 7 种,占挥发物总量 30.05%;其他类化合物 4 种,占挥发物总量 5.20%。香气成分中相对质量分数较高的是 1-戊烯-3-醇、2-甲基丁醛、己醛、芳樟醇、2-乙基呋喃、苯甲醇、顺-2-己烯醛、顺式芳樟醇氧化物、反式芳樟醇氧化物和 2,6,6-三甲基环己酮,相对质量分数分别为:39.71%、20.86%、5.45%、3.52%、2.58%、2.26%、1.89%、1.47%、1.13%和 1.01%。

2.1.5 枣香型白茶主要香气成分 枣香型白茶鉴定出 41 种香气成分,其中醇类化合物 17 种,占挥发物总量 58.30%;碳氢类化合物 8 种,占挥发物总量 2.67%;醛类化合物 9 种,占挥发物总量的 24.04%;其他类化合物 7 种,占挥发物总量 4.88%。香气成分中相对质量分数较高的是 1-戊烯-3-醇、2-甲基丁醛、己醛、芳樟醇、顺-3-己烯醇、4-戊烯醇、2-乙基呋喃、2-甲基丁醇、苯甲醇和己醇,分别为 32.82%、12.48%、7.08%、7.04%、4.01%、2.98%、2.33%、2.22%、1.69%和 1.54%。

2.1.6 药香型白茶主要香气成分 药香型白茶鉴定出了 28 种香气成分,其中醇类化合物 11 种,占挥发物总量 58.7%;碳氢类化合物 6 种,占挥发物总量 1.98%;醛类化合物 6 种,占挥发物总量 23.58%;其他类化合物 5 种,占挥发物总量 4.73%。香气成分中相对质量分数较高的是 1-戊烯-3-醇、2-甲基丁醛、芳樟醇、己醛、2-乙基呋喃、紫苏醇、苯甲醇、2-戊基呋喃、顺-2-己烯醛和顺式芳樟醇氧化物,相对质量分数分别为:46.64%、16.10%、6.56%、5.51%、3.05%、1.52%、1.39%、0.97%、0.87%和 0.79%。

2.2 不同香型白茶香气成分的聚类分析

利用 SPSS22 对 6 种不同香型白茶的香气成分相对质量分数进行聚类分析(图 1)。图 1 表明 6 种不同香型白茶可分为 2 类,粽叶香型白茶、枣香型白茶和药香型白茶相似度较高,聚为一类,其中药香型白茶和粽叶香型白茶的欧式距离仅为 1,枣香型白茶与药香型白茶、粽叶香型白茶之间的欧式距离为 5。青草香型白茶、花香型白茶和毫香型白茶相似度较高,聚为另一类,毫香型白茶与花香型白茶的欧式距离为 2,青草香型白茶与毫香型白茶、花香型白茶之间的相对距离为 7。这一结果表明枣香型、药香型和粽叶香型白茶之间的相似度高于青草香型、毫香型和花香型之间的相似度。

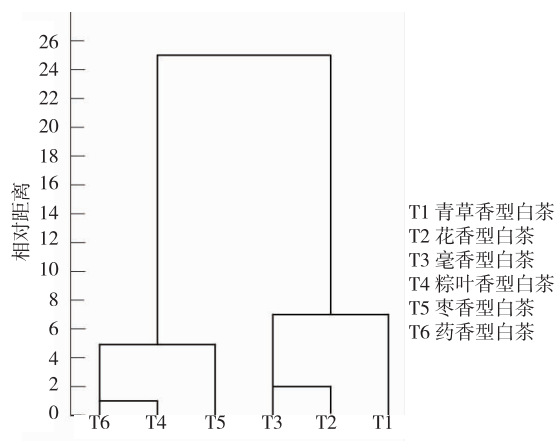


图 1 6 种不同香型白茶聚类分析图

Fig. 1 Cluster analysis dendrogram for 6 aroma types of white tea

2.3 不同香型白茶香气成分的主成分分析

将 6 种不同香型白茶的香气成分相对含量矩阵表(6 样品×48 组分)输入多元统计学软件 SIMCA-P13 中,进行主成分分析。通过主成分分析,

表明第 1 主成分和第 2 主成分总共能代表 98.20% 的香气组分变量信息,因此,主成分分析能够有效地区分 6 种不同香型的白茶。主成分分析 6 种不同香型白茶的主成分得分结果如图 2 所示,6 种不同香型白茶样品可分为两类,青草香型白茶、花香型白茶和毫香型白茶为一类,粽叶香型白茶、枣香型白茶和药香型白茶为另一类。6 种不同香型白茶主成分分析的成分载荷图如图 3 所示,距离中心点最远的为编号 2 和 30,对应的香气组分分别是 1-戊烯-3-醇和芳樟醇,表明 1-戊烯-3-醇和芳樟醇 2 种香气成分对主成分得分的影响较大,即对 6 种不同香型白茶的区分起到重要作用。

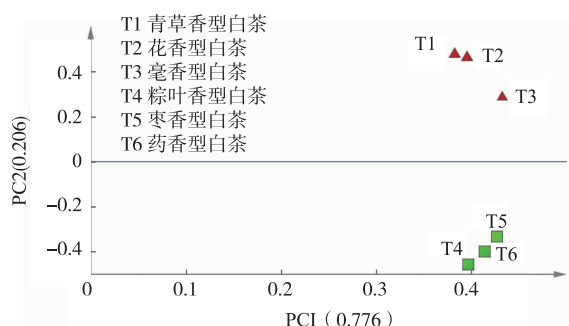


图 2 6 种不同香型白茶的主成分得分图

Fig. 2 PCA score plot for 6 aroma types of white tea

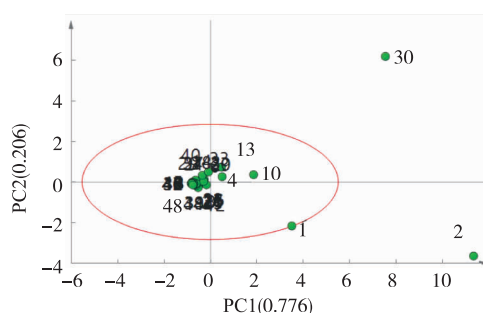
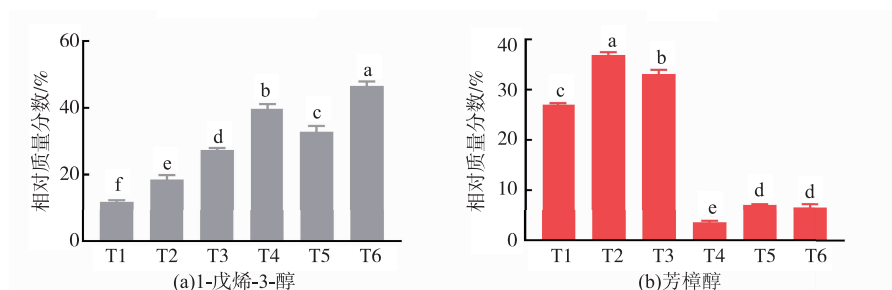


图 3 6 种不同香型白茶的变量载荷图

Fig. 3 PCA loading plot for variables in 6 aroma types of white tea



T1 为青草香型白茶, T2 为花香型白茶, T3 为毫香型白茶, T4 为粽叶香型白茶, T5 为枣香型白茶, T6 为药香型白茶; 不同小写字母表明差异达显著水平。

图 4 6 种不同香型的白茶中 1-戊烯-3-醇和芳樟醇的相对质量分数

Fig. 4 Relative content of 1-pentene-3-alcohol and linalool in 6 aroma types of white tea

3 结 语

在 6 种不同香型的白茶中, 共分析鉴定出 48 种主要的香气成分, 醇类化合物在 6 种不同香型白

茶的香气组成上占比均为最高。陈维等^[6]对不同萎调时间的白茶样品进行香气分析, 表明醇类化合物在白茶的挥发性物质中所占比例最大, 与本研究的結果一致。

参考文献:

- [1] 刘东娜,罗凡,李春华,等.白茶品质化学研究进展[J].中国农业科技导报,2018(4):79-91.
- [2] LI X,LIU G J,ZHANG W,et al. Novel flavoalkaloids from white tea with inhibitory activity against the formation of advanced glycation end products[J]. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**,2018,66(18):4621-4629.
- [3] 欧阳明秋,傅海峰,朱晨,等.白茶保健功效研究进展[J].亚热带农业研究,2019,15(1):66-72.
- [4] CAMOUSE M M,DOMINGO D S,SWAIN F R,et al. Topical application of green and white tea extracts provides protection from solar-simulated ultraviolet light in human skin[J]. **Experimental Dermatology**,2009,18(6):522-526.
- [5] DAMIANI,Elisabetta,BACCHETTI,et al. Antioxidant activity of different white teas:Comparison of hot and cold tea infusions [J]. **Journal of Food Composition and Analysis**,2014,33(1):59-66.
- [6] 黄艳,刘菲,孙威江.白茶产品与加工技术研究进展[J].中国茶叶加工,2015(6):5-9.
- [7] RAWAT R,GULATI A,KIRANBABU G,et al. Characterization of volatile components of Kangra orthodox black tea by gas chromatography-mass spectrometry[J]. **Food Chemistry**,2007,105(1):229-235.
- [8] HO C T,ZHENG X,LI S. Tea aroma formation[J]. **Food Science and Human Wellness**,2015,4(1):9-27.
- [9] 宛晓春,夏涛.茶树次生代谢[M].北京:科学出版社,2015.
- [10] MA C Y,LI J X,CHEN W,et al. Study of the aroma formation and transformation during the manufacturing process of oolong tea by solid-phase micro-extraction and gas chromatography-mass spectrometry combined with chemometrics[J]. **Food Research International**,2018,108:413-422.
- [11] YANG Z Y,BALDERMANN S,WATANABE N. Recent studies of the volatile compounds in tea [J]. **Food Research International**,2013,53(2):585-599.
- [12] 毛晓宁.如何区别新白茶和老白茶?[N].南宁晚报.2015-07-01(46).
- [13] CHEN Yang,HU Z,LU M,et al. Application of metabolomics profiling in the analysis of metabolites and taste quality in different subtypes of white tea[J]. **Food Research International**,2018,106:909-919.
- [14] 丁珂,宁井铭,张正竹,等.不同等级和储藏时间白茶香气组分差异性研究[J].安徽农业大学学报,2016(3):337-344.
- [15] 刘琳燕,周子维,邓慧莉,等.不同年份白茶的香气成分[J].福建农林大学学报(自然科学版),2015(1):27-33.
- [16] 陈维,马成英,王雯雯,等.萎凋时间对“英红九号”白茶香气的影响[J].食品科学,2017(18):138-143.
- [17] WANG Y,ZHENG P C,LIU P P,et al. Novel insight into the role of withering process in characteristic flavor formation of teas using transcriptome analysis and metabolite profiling[J]. **Food Chemistry**,2019,272:313-322.
- [18] CHEN Q C,ZHU Y,DAI W D,et al. Aroma formation and dynamic changes during white tea processing [J]. **Food Chemistry**,2019,274:915-924.
- [19] QI D,MIAO A,CAO J,et al. Study on the effects of rapid aging technology on the aroma quality of white tea using GC-MS combined with chemometrics:In comparison with natural aged and fresh white tea[J]. **Food Chemistry**,2018,265:189-199.
- [20] 王丽丽,张应根,杨军国,等.顶空固相微萃取/气相色谱——质谱联用法分析绿茶和白茶香气物质[J].茶叶学报,2017(1):1-7.
- [21] 石渝凤,邸太妹,杨绍兰,等.花香型红茶加工过程中香气成分变化分析[J].食品科学,2018(8):167-175.
- [22] ZHU Y,LV H P,SHAO C Y,et al. Identification of key odorants responsible for chestnut-like aroma quality of green teas[J]. **Food Research International**,2018,108:74-82.
- [23] LIWINSKA M,WI Niewska P,DYMERSKI T,et al. Application of electronic nose based on fast GC for authenticity assessment of Polish homemade liqueurs called Nalewka[J]. **Food Analytical Methods**,2016,9(9):2670-2681.