浙 江 林 业 科 技，2021，41（3）：1－14
J Zhejiang For Sci Technol

doi:10.3969/j.issn.1001-3776.2021.03.001

大厂茶茶叶中游离氨基酸及挥发性芳香物质分析

刘苇[1]，邓朝义[1]，陈兴[2]，卢永成[1]，廖德胜[1]

（1. 贵州黔西南喀斯特区域发展研究院，贵州　兴义　562400；2. 普安县鸡洞古茶农民专业合作社，贵州　普安　561500）

摘要：大厂茶 *Camellia tachangensis* 是特产于滇黔桂交接地区的国家优质重点保护茶叶树种，也是黔西南州地方特色茶叶“普安红”的原料。本研究首次对黔西南州 8 株大厂茶野生茶树（Q_1 ~ Q_8）茶叶中的游离氨基酸（FAA）和挥发性芳香物质（VAC）进行测定和分析。结果表明，在 8 株大厂茶茶叶中共检测出 25 种 FAA 组分，其中 Q_7 的 FAA 组分为 24 种，Q_8 的为 23 种，其余 6 株的茶叶中均为 25 种；25 种 FAA 组分的平均含量为 0.048 ~ 3.276 mg·g^{-1}，变异系数为 11.513% ~ 64.536%，差异较显著，说明 8 株大厂茶茶叶中的 FAA 组分的种类、含量及各组分之间都存在一定的差异和多样性；呈鲜甜味的 FAA 组分有 12 种，含量为 5.913 ~ 13.529 mg·g^{-1}，占 FAA 总量的 56.853% ~ 71.872%，说明呈鲜甜味的组分可能是茶汤中鲜爽味及甜味的重要来源。8 株大厂茶茶叶中的 VAC 的挥发规律基本一致，大部分 VAC 的保留时间在 4 ~ 45 min，到 117℃左右（保留时间 24 min 左右）挥发量达到最大值，说明在 8 株大厂茶茶叶中低沸点（200℃以下）的 VAC 含量占了绝大部分；共鉴定出 VAC 组分 10 类 104 种，以醇类、醛类为基础；主要呈香物质包括 15 种，通过单株比较，发现 8 株大厂茶茶叶中 VAC 组分的种类、含量、主要呈香物质含量和贡献率都存在一定的差异和多样性；在 8 株大厂茶茶叶中排名前十位的 VAC 组分含量的总和为 64.582% ~ 76.107%，说明这 10 个组分的香气特征可能是大厂茶表现出花香味、果香味、木香味、青草气、脂肪香味的重要因素。本研究对茶叶中 FAA 和 VAC 的分析结果为大厂茶的优良品系选育、优质成茶加工原料筛选提供了基础数据。

关键词：大厂茶；茶叶；游离氨基酸；挥发性芳香物质；组分；贵州

中图分类号：Q946　　　**文献标识码**：A　　　**文章编号**：1001-3776（2021）03-0001-014

Determination of Free Amino Acid and Volatile Aromatic Compound in *Camellia tachangensis*

LIU Wei[1]，DENG Chao-yi[1]，CHEN Xing[2]，LU Yong-cheng[1]，LIAO De-sheng[1]

（1. Karst Institute of Redional Development , Xingyi Guizhou, 562400; 2. Jidong ancient tea Professional cooperative, Pu’an Guizhou, 561500）

Abstract: Eight individuals of *Camellia tachangensis* were selected in Pu’an and Anlong Counties of Guizhou province for determination of component and content of free amino acid (FAA) and volatile aromatic compounds (VAC). The result showed that there were 25 compoents of FAA in *C. tachangensis*, with content of 0.048-3.276 mg/g, and the coefficient of variace from 11.513% to 64.536%. Twelve compounds of FAA were umami and sweet, with content of 5.913-13.529 mg/g, taking 56.853% -71.872% of the total. 104 types of 10 categories of VAC were identified, most of them were alcohols and aldehydes. 15 compounds of VAC had fragrant. The top ten VAC compounds content ranged from 64.582% to 76.107%.

Key words: *Camellia tachangensis*; leaf; free amino acid; volatile aromatic compounds; component; Guizhou

收稿日期：2021-01-15；**修回日期**：2021-04-02

基金项目：贵州省科技计划项目“滇黔桂大厂茶（四球茶）种质资源收集及扩繁技术研究”（黔科合支撑（2016）2607 号）

作者简介：刘苇，高级农艺师，从事茶树种质资源、育种和栽培技术研究；E-mail: liuwei04609@163.com

大厂茶 *Camellia tachangensis* 为山茶科 Theaceae 山茶属 *Camellia* 茶组 Sect. Thea 植物[1-7]，是茶组植物中较原始的种之一，在系统进化上处于较原始的位置，对研究茶树的起源、演化等具有重要价值。大厂茶是特产于滇、黔、桂交界地区的国家优质重点保护茶，也是黔西南州地方特色茶“普安红”的加工原料。茶叶的品质受茶树鲜叶中茶多酚类、氨基酸类、生物碱类、茶多糖类、色素类及香气物质等内含物的影响[8-13]。氨基酸是形成茶叶滋味的重要组成部分，对茶汤中鲜、甜滋味有协调作用[14]。茶叶中的氨基酸分为游离态氨基酸、结合态氨基酸，在水浸出物中呈游离状态存在的具有α-氨基的有机酸统称为游离氨基酸（Free amino acid, FAA）[15]，它是茶叶中重要的鲜爽味呈味物质[16]，也是评价茶叶鲜爽度的一个重要指标，在制茶过程中还可转变为香气物质。茶叶香气物质即挥发性芳香物质（Volatile aromatic compounds, VAC）在茶叶中的含量低，但由于其感官阈值低[17]，对茶叶的风味形成和品质都具有重要作用，在各类茶的审评因子中香气的评分系数占比达 25% ~ 35%[18]。茶叶香气形成的基本因素和途径是前体物质的生物合成，而前体物质的含量、种类及酶活性取决于茶鲜叶内含物[19-20]。茶叶中的 VAC 组分主要包括碳氢化合物、醇类、酮类、醛类、酯类、酸类、内酯类、含氮和杂氧化合物等[21-23]。

目前，对不同产地、不同种类、不同品种的茶鲜叶及成茶产品的 FAA、VAC 组分含量、差异比较等研究[24-45]较多也较深入，对大厂茶的主要常规生化成分（茶多酚、儿茶素、生物碱、氨基酸等）以及大厂茶与山茶属茶组其他种之间生化成分的差异也有一些研究报道[46-51]，但是对大厂茶的生化成分多样性、游离氨基酸、香气等都还鲜有研究报道。本研究通过对黔西南州 8 株大厂茶野生茶资源的 FAA 和 VAC 进行分析，以期为优良品系选育和优质成茶加工原料筛选提供基础数据。

1 材料与方法

1.1 材料

选取贵州省普安县青山镇哈马村和安龙县海子镇马赤黑村的 8 株野生大厂茶为研究材料，植株均长势良好，成叶深绿色、革质，芽叶无毛、肥壮、油亮，加工过程中胶质明显，其具体情况见表 1。

表 1 8 株大厂茶的生物学性状

Table 1 Growth traits of 8 individuals of *C. tachangensis*

编号	产地	生物学性状
Q_1	普安县青山镇哈马村	独干，树高为 6.5 m，枝下高为 1 m，分为 3 枝，胸径分别为 18.25、16.9、10.6 cm，地径为 40.6 cm，冠幅为 5.5 m × 4.5 m
Q_2	普安县青山镇哈马村	3 干丛生，树高为 6 m，枝下高为 1.5 m，胸径分别为 18.42、16.55、13.68 cm，地径为 35 cm，偏冠，冠幅为 4.5 m × 4 m
Q_3	普安县青山镇哈马村	2 干丛生，树高为 7 m，枝下高为 3 m，胸径分别为 21.4、10.18 cm，地径为 36 cm，冠幅为 3.5 m × 5 m
Q_4	普安县青山镇哈马村	2 干丛生（其中一干已齐地折断多年，断桩腐烂），树高为 5 m，枝下高为 2 m，胸径为 10.44 cm，地径为 13.6 cm（不含断桩的地径），冠幅为 3.5 m × 2.5 m；取样的一芽二三叶中的叶片较其他 7 株略薄
Q_5	普安县青山镇哈马村	独干，树高为 6 m，枝下高为 1 m，分为 2 枝，胸径分别为 14.26、7.12 cm，地径为 25.18 cm，冠幅为 6 m × 5 m
Q_6	普安县青山镇哈马村	2 干丛生，树高为 9 m，枝下高为 0.8 m，2 干各分为 2 枝，干 1 的地径为 34.85 cm，胸径分别为 27.46、19.95 cm，干 2 的地径为 25.5 cm，胸径分别为 22.18、10.32 cm，偏冠，冠幅为 9 m × 6 m，成叶为 8 株中最大
Q_7	普安县青山镇哈马村	独干，树高为 6 m，枝下高为 1.8 m，地径为 14 cm，胸径为 12.74 cm，冠幅为 3 m × 3.5 m；成叶颜色较其余 7 株绿色略浅，芽叶较其余 7 株的芽叶略细长
Q_8	安龙县海子镇马赤黑村	独干，树高为 7 m，枝下高为 2 m，地径为 46 cm，胸径为 37.5 cm，冠幅为 5 m × 5.5 m

1.2 方法

1.2.1 材料 参照《农作物种质资源鉴定技术规程 茶树》（NY/T1312—2007）[52]的方法，于 2020 年 5 月 4 日按一芽二三叶的标准采样，于 40℃低温烘干，待测。

1.2.2 检测 茶叶中的 FAA 采用全自动氨基酸分析仪法、反相高效液相色谱法（RP-HPLC）进行检测[30,53]，色谱柱为 Phenomenex Gemini C18 液相色谱柱（250 mm × 4.6 mm，5 μm），流动相 A：25 mmol·L^{-1} 醋酸钠缓冲液:

四氢呋喃=95∶5（V∶V），pH 5.8；流动相 B：甲醇；荧光检测：Em340 nm，Ex450 nm；柱温 32℃；流速 1 mL·min^{-1}；进样量 5 μL。

茶叶中的 VAC 采用顶空-固相微萃取-气质联用仪法（HS-SPME-GC-MS）进行测定[20]，在 60℃的平板加热条件下顶空萃取 60 min 后，移出萃取头并立即插入气相色谱仪进样口（温度 250℃）中，热解析 3 min 进样。色谱柱为 HP-5MS（60 m × 0.25 mm × 0.25 μm）弹性石英毛细管柱，初始温度 40℃（保留 2 min），以 3.5℃·min^{-1}升温至 208℃，再以 10℃·min^{-1}升温至 308℃，运行时间为 55 min；汽化室温度为 250℃。

色谱柱柱温的计算公式如下：

$$T_1=T_0+(t_1-t_0)\times Z_1 \qquad (1)$$

式中，T_1为介于 40 ~ 208℃的柱温；T_0为初始温度 40℃；t_1为柱温 40 ~ 208℃时某个芳香物质挥发出来的保留时间；t_0为初始保留时间（2 min）；Z_1为 40 ~ 208℃时的升温速度 3.5℃·min^{-1}；

$$T_2=T_0'+(t_2-t_0')\times Z_2 \qquad (2)$$

式中，T_2为介于 208 ~ 308℃的柱温；T_0'为初始温度 208℃；t_2为柱温 208 ~ 308℃时某个芳香物质挥发出来的保留时间；t_0'为柱温为 208℃时的保留时间；Z_2为柱温为 208 ~ 308℃时的升温速度 10℃·min^{-1}。

1.2.3　数据统计分析　采用 Excel 2007 进行数据整理，采用 SPSS 19.0 进行数据统计参数分析和主成分分析。

2　结果与分析

2.1　FAA 的结果与分析

2.1.1　大厂茶茶叶中 FAA 的差异性分析　由表 2 可知，在 8 株大厂茶茶叶中的 FAA 组分除了在 Q_7的茶叶中检测到 24 种（未检测到色氨酸）、在 Q_8的茶叶中检测到 23 种（未检测到尿素、色氨酸），在其余 6 株的茶叶均检测到 25 种；25 种 FAA 组分之间含量相差较大。25 种 FAA 组分的含量均值在 0.048 ~ 3.276 mg·g^{-1}，其中，以茶氨酸的含量最高，为 0.671 ~ 7.138 mg·g^{-1}，在 FAA 总量中的占比也最高，为 6.228% ~ 37.037%；其次是亮氨酸，其含量为 0.777 ~ 1.707 mg·g^{-1}，在总量中的占比为 7.493% ~ 11.523%；甘氨酸的含量最低，为 0.045 ~ 0.053 mg·g^{-1}，仅占总量的 0.257% ~ 0.468%。在检测到的 7 种必需氨基酸（赖氨酸、色氨酸、苯丙氨酸、苏氨酸、异亮氨酸、亮氨酸、缬氨酸）中，除了亮氨酸的含量均值大于 1 mg·g^{-1}，其余 6 种的含量都小于 1 mg·g^{-1}，色氨酸为第一限制氨基酸。

由表 2 还可以看出，25 种 FAA 组分含量及总量的变异系数差异也较大（11.513% ~ 64.536%），其中甘氨酸的变异系数最低（11.513%），色氨酸的变异系数最高（64.536%）。在 8 株大厂茶茶叶中，除了 6 株样树之间（Q_5、Q_6、Q_4、Q_1、Q_7、Q_3之间，以及 Q_4、Q_1、Q_7、Q_3、Q_8、Q_2之间）的甘氨酸差异不显著；5 株样树之间（Q_5、Q_4、Q_8、Q_7、Q_1之间，Q_4、Q_8、Q_7、Q_1、Q_3之间，以及 Q_8、Q_7、Q_1、Q_3、Q_2之间）的脯氨酸差异不显著；5 株样树之间（Q_5、Q_3、Q_2、Q_7、Q_6之间）的丙氨酸差异不显著；5 株样树之间（Q_6、Q_4、Q_2、Q_1、Q_3之间）的胱氨酸差异不显著；5 株样树之间（Q_3、Q_1、Q_5、Q_7、Q_6之间）的赖氨酸差异不显著；4 株样树之间（Q_1、Q_2、Q_3、Q_4之间）的磷乙醇胺差异不显著，4 株样树之间（Q_5、Q_6、Q_3、Q_4之间）的尿素差异不显著，前述 7 种 FAA 组分在剩余样树间的差异，以及其余 18 种 FAA 组分和 FAA 总量在 8 株大厂茶之间的差异都达到了显著水平（$P<0.05$），说明 8 株大厂茶样树茶叶中的 FAA 多样性较丰富。

从表 2 中可知，在 8 株大厂茶茶叶中，呈鲜甜味[29,54-55]的 FAA 组分有天冬氨酸、苏氨酸、丝氨酸、天冬酰胺、谷氨酸、茶氨酸、脯氨酸、甘氨酸、丙氨酸、苯丙氨酸、β 丙氨酸、γ 氨基丁酸 12 种，其含量均在 5.913 ~ 13.529 mg·g^{-1}，在总量中的占比为 56.853% ~ 71.872%，其中，呈鲜味[29,54-55]的有天冬氨酸、丝氨酸、谷氨酸、茶氨酸 4 种，其含量在 2.194 ~ 8.731 mg·g^{-1}，在 FAA 总量中的占比在 20.840% ~ 45.300%；呈苦味[29,54-55]的 FAA 组分除 Q_7、Q_8有 8 种（不含色氨酸）外，其余 6 株都有缬氨酸、异亮氨酸、亮氨酸、酪氨酸、组氨酸、色氨酸、鸟氨、赖氨酸、精氨酸 9 种，其含量在 3.768 ~ 5.754 mg·g^{-1}，在总量中的占比在 26.836% ~ 39.661%。以上结果说明，在 8 株大厂茶茶叶的 25 种 FAA 组分中，以呈鲜甜味的组分占绝对优势，这可能是茶汤中鲜爽味及甜味

的重要来源。

表 2　8 株大厂茶茶叶中 FAA 组分的基本统计参数

Table 2　Component of FAA in 8 individuals of *C. tachangensis*

种类	呈味[29,54-55]	含量/（mg·g^{-1}）											*SD*	*CV*
		Q_1	Q_2	Q_3	Q_4	Q_5	Q_6	Q_7	Q_8	最小值	最大值	均值		
FAA_1	不明	0.050 de	0.041 de	0.143 a	0.101 bc	0.102 bc	0.075 cd	0.112 ab	0.035 e	0.033	0.144	0.082	0.040	48.958
FAA_2	不明	0.078 cd	0.077 cd	0.072 d	0.068 d	0.086 bc	0.096 b	0.137 a	0.094 b	0.067	0.154	0.088	0.022	24.545
FAA_3	不明	0.092 c	0.086 c	0.160 b	0.139 bc	0.187 ab	0.183 ab	0.222 a	–	0.000	0.249	0.134	0.073	54.469
FAA_4	甜、鲜	0.313 g	0.376 e	0.558 a	0.262 h	0.392 d	0.365 f	0.423 c	0.522 b	0.259	0.559	0.401	0.095	23.636
FAA_5	微甜	0.439 f	0.514 e	0.592 c	0.450 f	0.660 b	0.575 d	0.727 a	0.581 cd	0.430	0.733	0.567	0.094	16.665
FAA_6	甜、鲜	0.538 e	0.398 g	0.711 b	0.408 g	0.574 d	0.487 f	0.603 c	1.326 a	0.388	1.328	0.630	0.286	45.399
FAA_7	微甜	0.627 c	0.393 f	0.672 b	0.631 c	0.562 d	0.386 f	0.549 e	0.875 a	0.382	0.881	0.587	0.151	25.675
FAA_8	鲜、酸、甜	0.415 g	0.625 c	0.640 b	0.451 f	0.628 c	0.844 a	0.547 d	0.465 e	0.408	0.846	0.577	0.133	23.073
FAA_9	鲜、甜	0.928 f	2.746 d	4.160 bc	4.339 b	7.138 a	2.201 e	0.671 g	4.026 c	0.627	7.429	3.276	2.018	61.591
FAA_{10}	甜	0.511 abc	0.447 cd	0.457 bcd	0.540 ab	0.573 a	0.394 d	0.527 abc	0.536 abc	0.292	0.611	0.498	0.070	13.984
FAA_{11}	甜	0.048 ab	0.041 b	0.047 ab	0.049 ab	0.055 a	0.053 a	0.048 ab	0.045 b	0.039	0.064	0.048	0.006	11.513
FAA_{12}	甜	0.511 c	0.838 b	0.873 b	0.512 c	0.876 b	0.738 b	0.804 b	1.122 a	0.507	1.126	0.784	0.206	26.215
FAA_{13}	味甜而后苦	0.563 b	0.454 f	0.539 c	0.660 a	0.562 b	0.475 e	0.282 g	0.506 d	0.270	0.676	0.505	0.106	20.940
FAA_{14}	无味	0.047 c	0.050 c	0.045 c	0.054 c	0.031 d	0.060 c	0.120 a	0.096 b	0.030	0.120	0.063	0.029	46.864
FAA_{15}	苦	0.377 d	0.327 g	0.386 c	0.453 b	0.389 c	0.359 f	0.368 e	0.509 a	0.327	0.511	0.396	0.055	13.989
FAA_{16}	苦	0.777 g	1.031 f	1.233 d	1.420 c	1.444 b	1.215 e	1.241 d	1.707 a	0.776	1.707	1.258★	0.267	21.248
FAA_{17}	苦	1.005 d	0.924 e	1.054 b	1.217 a	1.020 c	1.059 b	0.642 f	0.476 g	0.470	1.224	0.924	0.233	25.248
FAA_{18}	甜	0.734 d	0.619 e	0.828 c	1.046 b	0.712 d	0.722 d	0.467 f	1.375 a	0.443	1.396	0.813	0.269	33.061
FAA_{19}	甜	0.065 e	0.059 f	0.080 c	0.066 e	0.082 b	0.071 d	0.056 g	0.097 a	0.055	0.097	0.072	0.013	18.466
FAA_{20}	微甜	0.786 f	0.849 e	0.887 d	0.731 g	1.279 b	0.928 c	0.702 g	1.491 a	0.653	1.494	0.956	0.269	28.081
FAA_{21}	苦	0.232 c	0.239 c	0.208 d	0.323 b	0.137 f	0.191 e	0.391 a	0.137 f	0.134	0.401	0.232	0.084	36.187
FAA_{22}	苦	0.190 b	0.149 d	0.202 b	0.275 a	0.176 c	0.154 d	–	–	0.000	0.285	0.143☆	0.092	64.536
FAA_{23}	微苦	0.060 d	0.047 e	0.072 c	0.048 ef	0.055 de	0.050 ef	0.094 b	0.104 a	0.046	0.108	0.066	0.021	32.410
FAA_{24}	苦	0.506 bc	0.375 d	0.509 bc	0.567 b	0.487 bc	0.437 cd	0.439 cd	0.688 a	0.370	0.834	0.501	0.102	20.328
FAA_{25}	苦	0.254 g	0.224 h	0.764 d	0.794 c	1.070 b	1.436 a	0.600 e	0.527 f	0.223	1.438	0.708	0.389	54.862
总量		10.140 h	11.923 f	15.885 c	15.595 d	19.273 a	13.551 e	10.766 g	17.333 b	10.103	19.522	14.308	3.111	21.745
鲜甜味氨基酸含量/(mg·g^{-1})		5.913	7.902	10.502	9.480	13.529	7.763	6.121	12.458					
鲜甜味氨基酸占比/%		58.309	66.278	66.113	60.786	70.196	57.287	56.853	71.872					
鲜味氨基酸含量/(mg·g^{-1})		2.194	4.145	6.068	5.459	8.731	3.897	2.244	6.338					
鲜味氨基酸占比/%		21.632	34.762	38.196	35.002	45.300	28.754	20.840	36.566					
苦味氨基酸含量/(mg·g^{-1})		3.962	3.768	4.965	5.754	5.339	5.375	4.055	4.652					
苦味氨基酸占比/%		39.068	31.600	31.253	36.896	27.700	39.661	37.662	26.836					

注：FAA_1：磷酸丝氨酸，FAA_2：磷乙醇胺，FAA_3：尿素，FAA_4：天冬氨酸，FAA_5：苏氨酸，FAA_6：丝氨酸，FAA_7：天冬酰胺，FAA_8：谷氨酸，FAA_9：茶氨酸，FAA_{10}：脯氨酸，FAA_{11}：甘氨酸，FAA_{12}：丙氨酸，FAA_{13}：缬氨酸，FAA_{14}：胱氨酸，FAA_{15}：异亮氨酸，FAA_{16}：亮氨酸，FAA_{17}：酪氨酸，FAA_{18}：苯丙氨酸，FAA_{19}：β 丙氨酸，FAA_{20}：γ 氨基丁酸，FAA_{21}：组氨酸，FAA_{22}：色氨酸，FAA_{23}：鸟氨酸，FAA_{24}：赖氨酸，FAA_{25}：精氨酸；－表示未检出；同列中不同小写字母表示在 P=0.05 水平差异显著；★表示最大值、☆表示最小值；*SD* 为标准差，*CV* 为变异系数。下同。

2.1.2　不同种类 FAA 主成分分析　以大厂茶茶叶中 25 种 FAA 组分含量为基础，计算各主成分的因子载荷和贡献率，结果见表 3。由表 3 可知，前 4 个主成分（PC1、PC2、PC3、PC4）的贡献率分别为 36.956%、23.889%、16.615%和 10.356%，其累积贡献率为 87.825%，所以利用前 4 个主成分即可代表被考查性状的原始数据信息。其中，PC1 的决定因子有 13 个（尿素、天冬氨酸、丝氨酸、天冬酰胺、丙氨酸、异亮氨酸、亮氨酸、酪氨酸、苯丙氨酸、β 丙氨酸、γ 氨基丁酸、鸟氨酸、赖氨酸），PC2 的决定因子有 6 个（磷乙醇胺、苏氨酸、茶氨酸、缬氨酸、胱氨酸、色氨酸），PC3 的决定因子有 3 个（谷氨酸、甘氨酸、精氨酸），PC4 的决定因子有 3 个（磷酸丝氨酸、脯氨酸、组氨酸）。而前 4 个主成分的决定因子总数为 25 个，与 8 株大厂茶样树茶叶检出的 FAA

组分数量相等，这说明全部（25 种）FAA 组分才能反映出大厂茶茶叶 FAA 的特性。

表 3　各 FAA 组分主成分的因子载荷和贡献率
Table 3　Factor loading and contribution rate of FAA component

指标	主成分				指标	主成分			
	PC1	PC2	PC3	PC4		PC1	PC2	PC3	PC4
FAA_1	−0.244	−0.076	0.528	0.554*	FAA_{15}	0.817*	0.348	−0.118	0.356
FAA_2	0.136	−0.913*	0.140	0.235	FAA_{16}	0.738*	0.100	0.417	0.263
FAA_3	−0.603*	−0.341	0.571	0.429	FAA_{17}	−0.734*	0.623	0.180	0.125
FAA_4	0.628*	−0.299	0.309	−0.287	FAA_{18}	0.767*	0.524	−0.142	0.035
FAA_5	0.242	−0.693*	0.619	0.152	FAA_{19}	0.817*	0.381	0.375	−0.148
FAA_6	0.976*	−0.080	−0.009	−0.101	FAA_{20}	0.808*	0.219	0.351	−0.266
FAA_7	0.844*	0.225	−0.220	0.311	FAA_{21}	−0.434	−0.486	0.396	0.566*
FAA_8	−0.352	−0.177	0.741*	−0.468	FAA_{22}	−0.591	0.773*	0.039	0.119
FAA_9	0.301	0.597*	0.565	0.095	FAA_{23}	0.784*	−0.544	−0.097	0.167
FAA_{10}	0.424	0.135	−0.113	0.669*	FAA_{24}	0.831*	0.386	−0.143	0.290
FAA_{11}	−0.188	0.182	0.715*	0.389	FAA_{25}	−0.125	0.122	0.864*	0.139
FAA_{12}	0.743*	−0.292	0.357	−0.392	特征值	9.241	5.972	4.154	2.589
FAA_{13}	0.007	0.989*	−0.035	0.133	贡献率/%	36.965	23.889	16.615	10.356
FAA_{14}	0.429	−0.780*	−0.213	0.244	累积贡献率/%	36.965	60.853	77.469	87.825

注：*表示指标在各因子中的最大绝对值。

2.2　VAC 的结果与分析

2.2.1　大厂茶茶叶中 VAC 的总体情况分析　根据公式（1）得出，保留时间 50 min 时色谱柱的柱温达到 208℃；由公式（2）得出保留时间 60 min 时色谱柱的柱温达到 308℃。从 VAC 总离子流 TIC 图（图 1）可以看出，在 8 株大厂茶茶叶中的大部分 VAC 的保留时间在 4 ~ 45 min，所以对应的色谱柱的柱温都应按公式（1）计算。出峰时间基本都在 4 ~ 8、10 ~ 15、17 ~ 25、27 ~ 29、35 ~ 36、39 ~ 40 min，最大峰值出现在 24 min 左右。可见在 8 株大厂茶茶叶中，随着色谱柱柱温的升高，挥发出的 VAC 的量逐渐增多，到 117℃左右（保留时间 24 min 左右）达到最大值，随后下降，在 169.5 ~ 173℃（保留时间为 39 ~ 40 min）时出现最后一次小的峰值后，挥发出的 VAC 逐渐趋近 0，说明在 8 株大厂茶茶叶中低沸点（200℃以下）的 VAC 含量占了绝大部分。

2.2.2　VAC 组分分析　由表 4 可知，从 8 株大厂茶的茶叶中共鉴定出 VAC 组分 10 类 104 种，其中醇类有 28 种、醛类有 25 种、酮类有 16 种、烷烃类有 11 种、烯烃类有 9 种、酯类有 6 种、酸类有 3 种、含氮化合物有 3 种、杂氧化合物有 2 种、含硫化合物仅 1 种。在 10 类化合物中（表 5），醇类物质的含量占绝对优势，为 52.350% ~ 74.765%，其次是醛类物质，含量为 10.425% ~ 26.604%，表明大厂茶茶叶中的 VAC 是以醇类、醛类为基础的。

从表 5 可以看出，在 8 株大厂茶的茶叶中都含有 10 类化合物，VAC 组分的种类也较丰富，其中以 Q_5 的 VAC 组分种类最多（94 种），其次是 Q_1 和 Q_2 的（88 种），Q_6 的最少（79 种），说明 8 株大厂茶茶叶中的 VAC 组成存在一定差异。在 8 个样株的茶叶中，每类化合物包含的 VAC 组分种类也存在一定的差异，在 Q_1 中以烷烃类化合物的种类最多（11 种），在 Q_4 中以杂氧化合物的种类最多（2 种），在 Q_5 中以醇类、醛类、酮类、含氮化合物的种类最多（分别为 28、23、14、3 种），在 Q_6 中以酯类化合物的种类最多（6 种）；在 Q_4 中以醛类化合物的种类最少（20 种），在 Q_6 中以醇类、酮类、烷烃类、烯烃类化合物的种类最少（分别为 23、9、8、5 种），在 Q_8 中以酯类化合物的种类最少（4 种）。在每个样株的茶叶中，VAC 组分含量占提取物总量百分比也存在一定的差异，以 Q_3 的 VAC 组分含量占提取物总量百分比最高（97.348%），Q_5 的次之（97.242%），Q_6 的最低（95.794%）。

在 8 株大厂茶的茶叶中，平均含量大于 1%的主要呈香物质[22-23]包括 15 种（表 4），其中醇类有 7 种、醛类有 5 种、酮类有 2 种、酯类仅 1 种，包括（Z）-3-已烯醇（青叶醇）、芳樟醇及其氧化物、苯乙醇、已醛、（E）-2-已烯醛、苯甲醛、（E,E）-2,4-庚二烯醛、壬醛、（E,E）-3,5-辛二烯-2-酮、反式 β -紫罗兰酮、水杨酸甲酯。8 株大厂茶茶叶中的主要呈香物质的平均含量为 76.688%，其中以 Q_5 中的含量为最高（79.488%），Q_8 中的次之（79.284%），Q_1 中的最低（70.808）。从 8 株大厂茶茶叶中主要呈香物质的种类看，除 Q_5 只含 14 种（不含壬醛）外，其余 7 株均含 15 种。但从 15 种主要呈香物质在每个样株中的贡献率看，反式 β-紫罗兰酮在 Q_1、Q_5、Q_7、Q_8 中的含量均小于 1%，不作为这 4 株的主要呈香物质；（E,E）-2,4-庚二烯醛在 Q_2、Q_5、Q_7、Q_8 中的含量小于 1%，不作为这 4 株的主要呈香物质；Q_5 中苯甲醛的含量小于 1%、壬醛未检出，这 2 个组分也不作为 Q_5 的主要呈香物质。因此，Q_3、Q_4、Q_6 的实际主要呈香物质为 15 种，Q_1、Q_2 的实际主要呈香物质为

14 种，Q_7、Q_8 的实际主要呈香物质为 12 种，Q_5 的实际主要呈香物质仅 11 种。

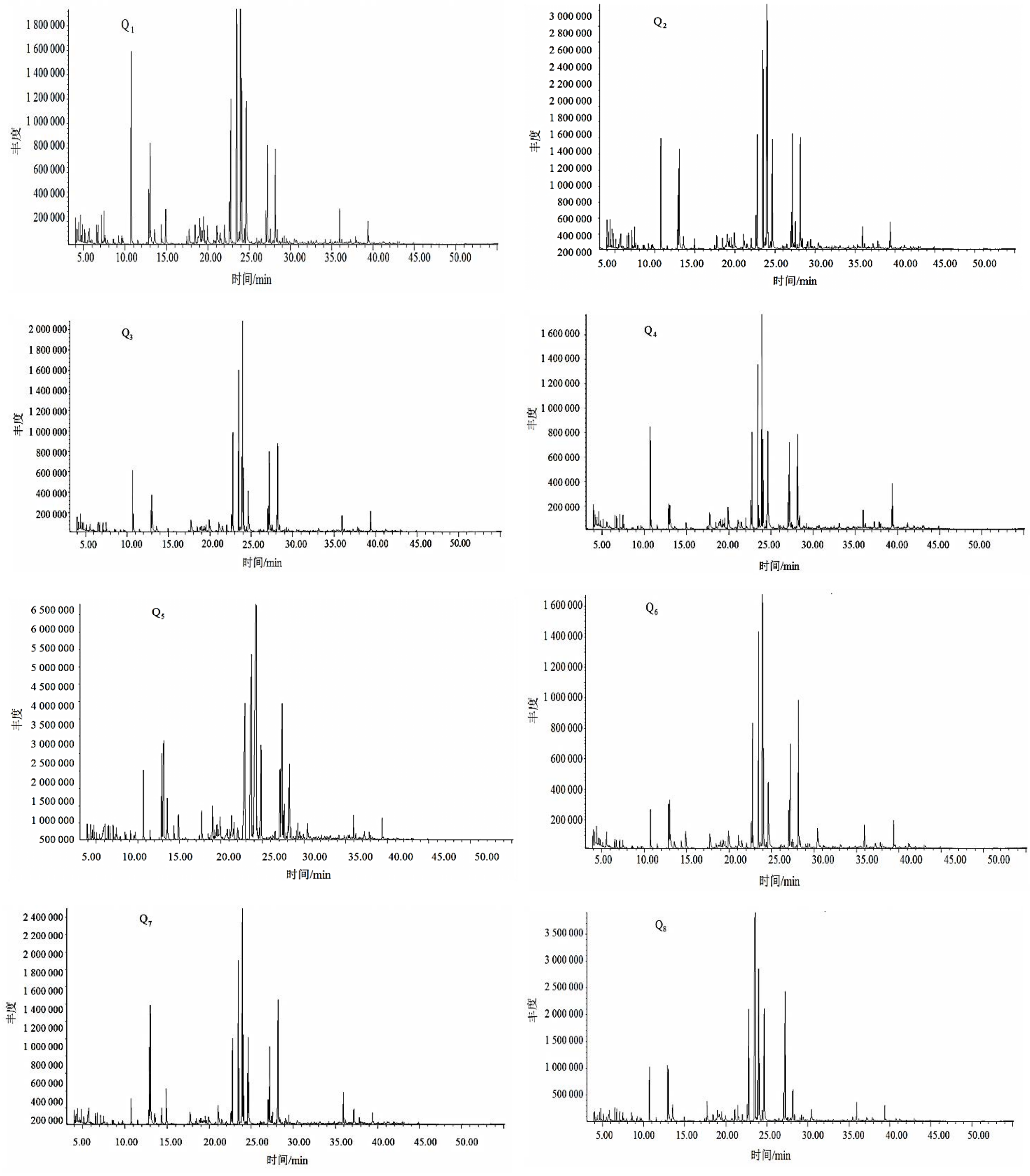

图 1 8 株大厂茶茶叶中 VAC 的总离子流 TIC 图

Figure 1 Total ion chromatogram of VAC in 8 individual of *C. tachangensis*

根据香气特征[56]进行分析（表 6），在 8 株大厂茶茶叶中排名前十位的 VAC 组分中，除了 Q_7 中第十位的乙酸（有刺激性气味）含量为 1.705%，前九位 VAC 组分呈花果香、强木香、青草香气、冬青味及脂肪香味，Q_1 ~ Q_6、Q_8 的前十位 VAC 组分都呈花果香、强木香、青草香气、冬青味及脂肪香味。在 8 株大厂茶茶叶中排名前十位 VAC 组分含量的总和为 64.582% ~ 76.107%，在 104 种 VAC 组分总含量中占比较大，说明这十个组分可能是大厂茶茶叶表现出花香味、果香味、木香味、青草气、脂肪香味的重要因素。

表 4　8 株大厂茶茶叶中挥发性芳香物质组分及相对含量

Table 4　Component and content of VAC in 8 individuals of *C. tachangensis*

种类	序号	化合物名称	Q_1		Q_2		Q_3		Q_4		Q_5		Q_6		Q_7		Q_8	
			保留时间 /min	含量 /%	保留时间 /min	含量 /%	保留时间 /min	含量 /%	保留时间 /min	含量 /%	保留时间 /min	含量 /%	保留时间 /min	含量 /%	保留时间 /min	含量 /%	保留时间 /min	含量 /%
醇类	1	乙醇	4.382	0.427	4.379	0.651	4.385	0.596	4.388	0.296	4.339	0.269	4.387	0.561	4.384	0.427	4.388	0.137
	2	2-丁醇	–	–	–	–	–	–	–	–	5.560	0.003	–	–	–	–	–	–
	3	异丁醇	6.003	0.089	5.998	0.079	6.007	0.082	6.016	0.048	5.961	0.023	6.014	0.036	6.005	0.072	6.006	0.057
	4	1 -戊烯- 3 - 醇	7.086	0.803	7.083	0.592	7.096	0.519	7.095	0.672	7.060	0.324	7.099	0.428	7.094	0.383	7.094	0.380
	5	3-甲基丁醇	8.511	0.198	8.504	0.153	8.521	0.185	8.537	0.101	8.473	0.203	8.527	0.165	8.505	0.236	8.494	0.371
	6	2-甲基-1-丁醇	8.622	0.202	8.616	0.172	8.631	0.172	8.640	0.110	8.587	0.153	8.634	0.142	8.617	0.279	8.611	0.226
	7	1-戊醇	9.570	0.428	9.566	0.242	9.601	0.179	9.601	0.295	9.567	0.158	9.607	0.105	9.596	0.105	9.571	0.261
	8	(Z)-2-戊烯-1-醇	9.710	0.467	9.701	0.362	9.738	0.214	9.738	0.340	9.678	0.289	9.744	0.196	9.716	0.292	9.712	0.208
	9	(Z)-3-已烯醇或青叶醇*	13.007	4.466	13.011	5.110	12.998	3.819	13.008	2.748	13.132	5.620	12.996	4.178	13.022	7.159	13.015	2.865
	10	2-已烯醇	13.475	0.090	13.463	0.096	13.499	0.057	–	–	13.475	0.188	–	–	13.476	0.075	13.446	0.690
	11	1-已醇	13.542	0.857	13.528	0.855	13.552	0.856	13.583	0.387	13.572	1.269	13.553	0.649	13.539	0.952	13.529	1.254
	12	2-庚醇	14.876	1.165	14.859	0.024	14.895	0.022	14.894	0.046	14.887	0.566	14.881	0.820	14.873	1.680	14.870	0.032
	13	1-辛烯-3-醇	18.458	0.854	18.447	0.539	18.467	0.477	18.470	0.563	18.466	0.228	18.472	0.338	18.459	0.385	18.452	0.411
	14	(Z)-乙酸-3-已烯醇	19.687	0.087	19.673	0.145	19.692	0.079	19.705	0.042	19.674	0.146	19.692	0.094	19.684	0.220	19.684	0.045
	15	2-乙基已醇	20.721	0.153	20.717	0.083	20.722	0.087	20.743	0.070	20.718	0.135	20.738	0.086	20.714	0.084	20.721	0.094
	16	苯甲醇	21.077	1.033	21.070	0.796	21.082	1.018	21.098	0.750	21.275	0.880	–	–	21.058	1.639	21.092	0.712
	17	α-甲基苯甲醇	–	–	–	–	–	–	–	–	22.516	0.032	–	–	–	–	–	–
	18	顺式芳樟醇氧化物*	22.772	5.662	22.774	5.190	22.765	6.717	22.762	5.520	22.900	7.827	22.760	6.345	22.762	4.640	22.790	6.906
	19	反式芳樟醇氧化物*	23.489	10.367	23.499	10.930	23.475	11.575	23.469	9.053	23.694	15.493	23.468	11.189	23.478	9.895	23.561	20.872
	20	芳樟醇*	23.955	12.822	24.004	20.537	23.946	20.426	23.930	13.881	24.237	25.003	23.923	14.843	23.962	18.227	23.993	13.105
	21	苯乙醇*	24.643	7.367	24.657	6.298	24.615	4.651	24.622	8.773	24.844	3.955	24.612	5.949	24.632	6.776	24.698	9.735
	22	反式芳樟醇 3,7-氧化物*	27.017	1.373	27.017	1.729	27.008	2.016	27.011	1.775	27.109	2.377	27.007	2.296	27.009	1.684	27.017	1.677
	23	氧化芳樟醇*	27.190	4.373	27.214	5.957	27.184	6.007	27.182	5.798	27.389	8.239	27.180	6.176	27.189	4.705	27.243	9.868
	24	松油烯-4-醇	27.420	0.154	27.420	0.245	27.416	0.467	27.414	0.379	27.492	0.635	27.416	0.456	27.414	0.455	27.424	0.176
	25	α-松油醇	27.980	0.131	27.986	0.196	27.974	0.170	27.974	0.189	28.058	0.229	27.972	0.139	27.974	0.241	27.979	0.128
	26	橙花醇	–	–	–	–	–	–	–	–	29.430	0.138	–	–	–	–	–	–
	27	反式香叶醇	30.468	0.417	30.435	0.353	30.475	0.241	30.482	0.333	30.433	0.364	30.420	1.965	30.441	0.289	30.415	0.959
	28	反式-橙花叔醇	41.925	0.034	41.918	0.090	41.993	0.109	41.922	0.180	41.922	0.020	41.928	0.071	41.923	0.103	–	–
		小计		54.018		61.425		60.741		52.350		74.765		57.227		61.001		71.167
醛类	1	乙醛	4.167	0.350	4.175	0.444	4.172	0.449	4.173	0.414	4.126	0.109	4.176	0.331	4.170	0.307	4.173	0.119
	2	丙醛	4.588	0.643	4.587	0.458	4.594	0.351	4.592	0.516	4.546	0.169	4.597	0.259	4.591	0.171	4.590	0.245

表4 （续）

种类	序号	化合物名称	Q1		Q2		Q3		Q4		Q5		Q6		Q7		Q8	
			保留时间/min	含量/%	保留时间/min	含量/%	保留时间/min	含量/%	保留时间/min	含量/%	保留时间/min	含量/%	保留时间/min	含量/%	保留时间/min	含量/%	保留时间/min	含量/%
	3	异丁醛	5.100	0.282	5.096	0.228	5.103	0.224	5.103	0.274	5.059	0.112	5.107	0.120	5.101	0.201	5.103	0.187
	4	甲基丙烯醛	5.234	0.008	5.228	0.031	5.237	0.016	–	–	5.190	0.014	–	–	5.235	0.026	5.233	0.017
	5	丁醛	5.489	0.023	5.489	0.021	–	–	–	–	5.445	0.029	–	–	5.489	0.004	5.492	0.028
	6	(E)-2-丁烯醛	–	–	–	–	–	–	–	–	6.427	0.040	–	–	–	–	–	–
	7	3-甲基丁醛	6.503	0.529	6.498	0.352	6.509	0.506	6.509	0.582	6.465	0.270	6.511	0.380	6.505	0.419	6.503	0.496
	8	2-甲基丁醛	6.703	0.502	6.697	0.438	6.708	0.417	6.709	0.472	6.666	0.256	6.710	0.279	6.703	0.432	6.703	0.451
	9	戊醛	7.441	0.964	7.435	0.708	7.453	0.538	7.453	0.672	7.411	0.311	7.458	0.300	7.451	0.319	7.449	0.369
	10	戊烯醛	9.183	0.529	9.172	0.371	9.220	0.297	9.214	0.470	9.139	0.267	9.233	0.243	9.200	0.292	9.176	0.274
	11	己醛*	10.710	6.712	10.700	4.276	10.705	4.148	10.708	5.699	10.700	1.736	10.711	2.368	10.707	1.541	10.708	2.569
	12	(E)-2-己烯醛*	12.862	2.206	12.851	2.356	12.870	1.765	12.876	1.734	12.912	3.312	12.865	2.750	12.860	4.267	12.866	2.700
	13	正庚醛	14.933	1.438	14.931	0.457	14.953	0.326	14.956	0.544	14.917	0.328	14.941	0.828	14.931	0.965	14.943	0.281
	14	(E,E)-2,4-己二醛	–	–	–	–	–	–	–	–	15.396	0.054	15.540	0.164	–	–	–	–
	15	(Z)-2-庚醛	17.440	0.355	17.430	0.199	17.459	0.214	17.459	0.276	17.429	0.102	17.474	0.117	17.463	0.053	17.435	0.165
	16	苯甲醛*	17.723	1.039	17.705	1.010	17.729	1.738	17.730	2.312	17.700	0.868	17.737	1.817	17.720	1.314	17.702	1.557
	17	正辛醛	19.517	0.995	19.507	0.454	19.523	0.436	19.526	0.574	19.513	0.359	19.522	0.352	19.518	0.357	19.513	0.471
	18	(E,E)-2,4-庚二烯醛*	19.924	1.210	19.910	0.992	19.930	1.536	19.925	2.493	19.912	0.671	19.930	1.871	19.935	0.663	19.925	0.481
	19	苯乙醛	21.484	0.502	21.480	0.241	21.491	0.462	21.492	0.495	21.486	0.254	21.492	0.467	21.486	0.293	21.475	0.934
	20	(E)-2-辛烯醛	22.027	0.845	22.017	0.531	22.034	0.613	22.034	0.730	22.026	0.275	22.043	0.315	22.037	0.172	22.023	0.357
	21	壬醛*	24.081	6.381	24.089	3.880	24.068	4.285	24.067	4.948	–	–	24.064	5.149	24.076	4.919	24.090	3.265
	22	(Z)-2-壬烯醛	26.482	0.309	26.479	0.266	26.489	0.248	26.482	0.326	26.515	0.230	26.503	0.253	26.492	0.207	26.471	0.212
	23	癸醛	28.393	0.507	28.389	0.383	28.395	0.401	28.392	0.858	28.421	0.308	28.398	0.468	28.393	0.314	28.391	0.327
	24	β-环柠檬醛	29.240	0.274	29.237	0.272	29.242	0.282	29.240	0.280	29.273	0.352	29.240	0.237	29.237	0.206	29.238	0.286
	25	柠檬醛	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	31.118	0.167	–	–	31.112	0.085
		小计		26.604		18.366		19.250		24.671		10.425		19.236		17.443		15.876
酮类	1	2,3-丁二酮	5.426	0.056	5.420	0.089	5.434	0.038	5.438	0.028	5.384	0.110	5.436	0.032	5.426	0.060	5.427	0.120
	2	2-丁酮	–	–	–	–	–	–	–	–	5.519	0.005	–	–	–	–	–	–
	3	1-戊烯-3-酮	7.210	0.128	7.201	0.110	7.229	0.070	7.231	0.066	7.170	0.076	7.231	0.050	7.220	0.069	7.220	0.047
	4	2,3 - 戊二酮	7.387	0.055	7.381	0.041	7.397	0.035	7.393	0.047	7.357	0.020	–	–	7.388	0.030	7.409	0.031
	5	丙酮	7.842	0.146	7.818	0.217	7.851	0.093	7.880	0.038	7.899	0.122	7.843	0.063	7.841	0.132	7.905	0.209
	6	2-甲基-3-戊酮	9.061	0.022	9.048	0.017	9.065	0.007	9.061	0.025	–	–	–	–	–	–	–	–
	7	2-庚酮	14.480	0.051	14.485	0.039	14.552	0.053	14.523	0.031	14.468	0.043	–	–	14.470	0.039	14.500	0.033
	8	2,3-辛二酮	18.638	0.083	18.630	0.056	18.647	0.028	18.645	0.014	18.634	0.059	–	–	18.646	0.045	18.635	0.061
	9	6 -甲基-5-庚烯-2-酮	18.818	0.258	18.807	0.173	18.834	0.624	18.928	1.130	18.801	0.112	18.826	0.180	18.825	0.245	18.811	0.099

表 4　（续）

种类	序号	化合物名称	Q1 保留时间 /min	Q1 含量 /%	Q2 保留时间 /min	Q2 含量 /%	Q3 保留时间 /min	Q3 含量 /%	Q4 保留时间 /min	Q4 含量 /%	Q5 保留时间 /min	Q5 含量 /%	Q6 保留时间 /min	Q6 含量 /%	Q7 保留时间 /min	Q7 含量 /%	Q8 保留时间 /min	Q8 含量 /%
	10	5-乙基二氢-2(3H)-呋喃酮	–	–	–	–	–	–	–	–	21.992	0.122	21.992	0.026	21.952	0.058	–	–
	11	(E,E)-3,5-辛二烯-2-酮*	22.611	1.839	22.608	1.560	22.613	1.410	22.611	1.920	22.712	1.294	22.611	1.820	22.611	0.862	22.619	0.997
	12	3,5-辛二烯-2-酮	23.632	0.456	23.637	0.295	23.645	0.366	23.632	0.816	–	–	–	–	23.655	0.096	23.638	0.159
	13	1-乙基-2,5-吡咯烷二酮	–	–	–	–	–	–	–	–	25.502	0.058	–	–	–	–	–	–
	14	α-紫罗兰酮	37.266	0.102	37.262	0.184	37.269	0.135	37.262	0.370	37.264	0.193	37.265	0.231	37.256	0.067	37.260	0.159
	15	(E)-6,10-二甲基-5,9-十一烯-2-酮	38.002	0.142	37.999	0.168	38.006	0.265	38.000	0.302	37.999	0.089	38.003	0.198	38.001	0.114	37.999	0.098
	16	反式 β-紫罗兰酮*	39.384	0.764	39.387	1.138	39.389	1.335	39.385	2.359	39.393	0.508	39.383	1.336	39.384	0.532	39.384	0.813
		小计		4.101		4.087		4.459		7.146		2.809		3.936		2.349		2.827
烷烃类	1	正己烷	5.594	0.323	5.584	0.304	5.521	0.151	5.510	0.042	–	–	5.489	0.024	5.542	0.075	5.571	0.012
	2	3 - 甲基己烷	6.902	0.019	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	3	十一烷	23.814	0.296	23.805	0.271	23.813	0.193	23.807	0.032	23.836	0.259	–	–	23.809	0.198	23.814	0.128
	4	十二烷	28.108	0.446	28.090	0.378	28.097	0.256	–	–	28.112	0.359	–	–	28.097	0.256	28.088	0.159
	5	十三烷	32.132	0.106	32.127	0.111	32.134	0.110	32.129	0.107	32.135	0.088	32.129	0.088	32.132	0.091	32.129	0.060
	6	5-甲基十三烷	34.202	0.131	34.203	0.112	34.205	0.095	34.202	0.156	34.207	0.098	34.209	0.095	34.203	0.130	34.202	0.072
	7	3-甲基十三烷	34.848	0.114	34.847	0.100	34.854	0.125	34.846	0.088	34.854	0.085	34.851	0.077	34.848	0.134	34.847	0.063
	8	十四烷	35.947	1.244	35.945	0.824	35.951	1.084	35.946	0.945	35.955	0.515	35.944	1.028	35.947	1.542	35.945	0.857
	9	壬基环戊烷	37.834	0.310	37.836	0.350	37.840	0.384	37.837	0.500	37.838	0.218	37.834	0.349	37.836	0.410	37.832	0.199
	10	十五烷	39.543	0.087	39.536	0.152	39.543	0.169	39.533	0.308	39.540	0.081	39.536	0.121	39.537	0.141	39.540	0.110
	11	十六烷	42.957	0.090	42.955	0.090	42.962	0.125	42.957	0.159	42.956	0.038	42.955	0.154	42.956	0.106	42.953	0.119
		小计		3.168		2.693		2.692		2.339		1.740		1.937		3.082		1.780
烯烃类	1	(E)-2-甲基-1,3-戊二烯	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	6.243	0.033	–	–
	2	α-蒎烯	16.486	0.030	16.476	0.007	–	–	–	–	16.476	0.007	–	–	–	–	–	–
	3	β-月桂烯	19.027	1.308	19.015	0.784	19.023	0.570	19.031	0.713	18.994	0.876	19.001	0.482	18.995	0.328	19.018	0.570
	4	柠檬烯	20.783	0.136	20.773	0.091	20.785	0.114	20.788	0.081	20.779	0.248	20.785	0.124	20.783	0.145	20.775	0.151
	5	3-乙基-2-甲基-1,3-己二烯	20.933	0.115	20.925	0.064	20.942	0.062	20.944	0.110	20.924	0.031	20.947	0.042	–	–	20.930	0.039
	6	反式 β – 罗勒烯	21.573	0.198	21.565	0.149	21.573	0.234	21.571	0.227	21.571	0.319	21.575	0.279	21.571	0.161	21.565	0.221
	7	（-）-β – 波旁烯	–	–	–	–	–	–	–	–	35.866	0.022	–	–	–	–	–	–
	8	长叶烯	36.676	0.043	36.678	0.064	36.681	0.048	36.673	0.073	–	–	–	–	36.677	0.064	36.679	0.047
	9	β – 石竹烯	37.189	0.045	37.099	0.024	36.994	0.060	36.988	0.102	37.196	0.062	37.188	0.167	37.190	0.683	37.186	0.157
		小计		1.876		1.183		1.087		1.306		1.564		1.094		1.380		1.185

表4 （续）

种类	序号	化合物名称	Q_1		Q_2		Q_3		Q_4		Q_5		Q_6		Q_7		Q_8	
			保留时间/min	含量/%	保留时间/min	含量/%	保留时间/min	含量/%	保留时间/min	含量/%	保留时间/min	含量/%	保留时间/min	含量/%	保留时间/min	含量/%	保留时间/min	含量/%
酯类	1	乙酸乙酯	5.807	0.049	5.802	0.036	5.871	0.048	5.826	0.024	5.767	0.033	5.816	0.066	5.807	0.018	–	–
	2	(E)-3-己烯基丁酸酯	27.556	0.501	27.559	1.065	27.555	0.416	27.554	0.258	27.620	0.812	27.555	0.319	27.555	0.608	27.554	0.192
	3	水杨酸甲酯*	28.161	4.226	28.178	5.604	28.163	7.107	28.158	6.711	28.243	2.545	28.164	9.618	28.177	8.249	28.158	1.874
	4	异戊酸顺-3-己烯基酯	29.466	0.233	29.462	0.448	29.470	0.237	29.471	0.152	29.484	0.176	29.461	0.338	29.465	0.538	29.418	0.204
	5	水杨酸乙酯	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	31.264	0.062	–	–	–	–
	6	二氢肌苷酯	41.200	0.096	41.190	0.174	41.204	0.197	41.189	0.384	41.198	0.046	41.191	0.235	41.196	0.156	41.190	0.126
		小计		5.105		7.327		8.006		7.529		3.612		10.639		9.569		2.397
酸类	1	乙酸	5.642	0.517	5.716	1.193	5.555	0.336	5.542	0.242	5.646	1.669	5.572	1.042	5.705	1.705	5.831	1.290
	2	己酸	–	–	19.138	0.325	19.191	0.173	19.193	0.198	19.181	0.064	18.752	0.266	18.846	0.191	–	–
	3	（E,E）-2,4-壬二酸	28.852	0.097	28.837	0.070	28.863	0.130	28.844	0.335	28.855	0.035	28.895	0.035	–	–	28.888	0.041
		小计		0.614		1.589		0.639		0.775		1.768		1.343		1.896		1.331
含氮化合物	1	甲氧基苯肟	–	–	–	–	–	–	–	–	15.772	0.094	–	–	–	–	–	–
	2	苄基腈	–	–	–	–	–	–	–	–	25.783	0.053	–	–	–	–	–	–
	3	咖啡因	51.150	0.137	51.120	0.139	51.108	0.017	51.111	0.019	51.142	0.031	51.219	0.083	51.108	0.012	51.262	0.014
		小计		0.137		0.139		0.017		0.019		0.178		0.083		0.012		0.014
杂氧化合物	1	2-乙基呋喃	7.566	0.232	7.560	0.184	7.569	0.156	7.571	0.214	7.535	0.130	7.568	0.105	7.567	0.106	7.568	0.091
	2	2-正丁基呋喃	–	–		–	–	–	14.557	0.061	–	–	–	–	–	–	–	–
		小计		0.232		0.184		0.156		0.275		0.130		0.105		0.106		0.091
含硫化合物	1	二甲硫醚	4.780	0.416	4.779	0.335	4.784	0.299	4.785	0.177	4.739	0.251	4.785	0.195	4.783	0.425	4.783	0.342
		小计		0.416		0.335		0.299		0.177		0.251		0.195		0.425		0.342

注：*表示8株大厂茶茶叶中平均含量超过1%的组分名称和数值。

表5 8株大厂茶茶叶中挥发性芳香物质的组分分类及含量

Table 5 Component and content of VAC in 8 individuals of *C. tachangensis*

化合物名称	Q_1		Q_2		Q_3		Q_4		Q_5		Q_6		Q_7		Q_8	
	种类/种	含量/%	种类/种	含量/%	种类/种	含量/%	种类/种	含量/%	种类/种	含量/%	种类/种	含量/%	种类/种	含量/%	种类/种	含量/%
醇类	25	54.018	25	61.425	25	60.741	24	52.350☆	28★	74.765★	23☆	57.227	25	61.001	24	71.167
醛类	22	26.604★	22	18.366	21	19.250	20☆	24.671	23★	10.425☆	22	19.236	22	17.443	23	15.876
酮类	13	4.101	13	4.087	13	4.459	13	7.146★	14★	2.809	9☆	3.936	13	2.349☆	12	2.827
烷烃类	11★	3.168★	10	2.693	10	2.693	9	2.339	9	1.740☆	8☆	1.937	10	3.082	10	1.780
烯烃类	7★	1.876★	7★	1.183	6	1.087☆	6	1.306	7★	1.564	5☆	1.094	6	1.413	6	1.185
酯类	5	5.105	5	7.327	5	8.006	5	7.529	5	3.612	6★	10.639★	5	9.569	4☆	2.397☆
酸类	2☆	0.614☆	3★	1.589	3★	0.639	3★	0.775	3★	1.768	3★	1.343	2☆	1.896★	2☆	1.331
含氮化合物	1☆	0.137	1☆	0.139	1☆	0.017	1☆	0.019	3★	0.178★	1☆	0.083	1☆	0.012☆	1☆	0.014
杂氧化合物	1☆	0.232	1☆	0.184	1☆	0.156	2★	0.275★	1☆	0.130	1☆	0.105	1☆	0.106	1☆	0.091☆
含硫化合物	1	0.416	1	0.335	1	0.299	1	0.177☆	1	0.251	1	0.195	1	0.425★	1	0.342
合计	88	96.270	88	97.327	86	97.348★	84	96.587	94★	97.242	79☆	95.794☆	86	97.296	84	97.009

注：★表示该项指标中的最大值；☆表示该项指标中的最小值。

表 6　8 株大厂茶茶叶中居前十位的挥发性芳香物质组分及其相对含量

Table 6　Top ten of VAC components and contents in 8 individuals of *C. tachangensis*

排名	Q_1 名称及香气特征	Q_1 含量/%	Q_2 名称及香气特征	Q_2 含量/%	Q_3 名称及香气特征	Q_3 含量/%	Q_4 名称及香气特征	Q_4 含量/%	Q_5 名称及香气特征	Q_5 含量/%	Q_6 名称及香气特征	Q_6 含量/%	Q_7 名称及香气特征	Q_7 含量/%	Q_8 名称及香气特征	Q_8 含量/%
1	芳樟醇 铃兰类鲜爽花香	12.822	芳樟醇 铃兰类鲜爽花香	20.537	芳樟醇 铃兰类鲜爽花香	20.426	芳樟醇 铃兰类鲜爽花香	13.881	芳樟醇 铃兰类鲜爽花香	25.003	芳樟醇 铃兰类鲜爽花香	14.843	芳樟醇 铃兰类鲜爽花香	18.227	反式芳樟醇氧化物 强木香、花香	20.872
2	反式芳樟醇氧化物 强木香、花香	10.367	反式芳樟醇氧化物 强木香、花香	10.930	反式芳樟醇氧化物 强木香、花香	11.575	反式芳樟醇氧化物 强木香、花香	9.053	反式芳樟醇氧化物 强木香、花香	15.493	反式芳樟醇氧化物 强木香、花香	11.189	反式芳樟醇氧化物 强木香、花香	9.895	芳樟醇 铃兰类鲜爽花香	13.105
3	苯乙醇 玫瑰香气	7.367	苯乙醇 玫瑰香气	6.298	水杨酸甲酯 冬青味	7.107	苯乙醇 玫瑰香气	8.773	氧化芳樟醇 强木香、花香	8.239	水杨酸甲酯 冬青味	9.618	水杨酸甲酯 冬青味	8.249	氧化芳樟醇 强木香、花香	9.868
4	己醛 青草气、粗青气	6.712	氧化芳樟醇 强木香、花香	5.957	顺式芳樟醇氧化物 强木香、花香	6.717	水杨酸甲酯 冬青味	6.711	顺式芳樟醇氧化物 强木香、花香	7.827	顺式芳樟醇氧化物 强木香、花香	6.345	（Z）-3-己烯醇 鲜爽清香、草香	7.159	苯乙醇 玫瑰香气	9.735
5	壬醛 玫瑰、柑橘等香气，强油脂气味	6.381	水杨酸甲酯 冬青味	5.604	氧化芳樟醇 强木香、花香	6.007	氧化芳樟醇 强木香、花香	5.798	（Z）-3-己烯醇 鲜爽清香、草香	5.620	氧化芳樟醇 强木香、花香	6.176	苯乙醇 玫瑰香气	6.776	顺式芳樟醇氧化物 强木香、花香	6.906
6	顺式芳樟醇氧化物 强木香、花香	5.662	顺式芳樟醇氧化物 强木香、花香	5.190	苯乙醇 玫瑰香气	4.651	己醛 青草气、粗青气	5.699	苯乙醇 玫瑰香气	3.955	苯乙醇 玫瑰香气	5.949	壬醛 玫瑰、柑橘等香气，强油脂气味	4.919	壬醛 玫瑰、柑橘等香气，强油脂气味	3.265
7	（Z）-3-己烯醇 鲜爽清香、草香	4.466	（Z）-3-己烯醇 鲜爽清香、草香	5.110	壬醛 玫瑰、柑橘等香气，强油脂气味	4.285	顺式芳樟醇氧化物 强木香、花香	5.520	（E）-2-己烯醛 青味、动物脂肪香	3.312	壬醛 玫瑰、柑橘等香气，强油脂气味	5.149	氧化芳樟醇 强木香、花香	4.705	（Z）-3-己烯醇 鲜爽清香、草香	2.865
8	氧化芳樟醇 强木香、花香	4.373	己醛 青草气、粗青气	4.276	己醛 青草气、粗青气	4.148	壬醛 玫瑰、柑橘等香气，强油脂气味	4.948	水杨酸甲酯 冬青味	2.545	（Z）-3-己烯醇 鲜爽清香、草香	4.178	顺式芳樟醇氧化物 强木香、花香	4.640	（E）-2-己烯醛 青味、动物脂肪香	2.700
9	水杨酸甲酯 冬青味	4.226	壬醛 玫瑰、柑橘等香气，强油脂气味	3.880	（Z）-3-己烯醇 鲜爽清香、草香	3.819	（Z）-3-己烯醇 鲜爽清香、草香	2.748	反式芳樟醇 3,7-氧化物 强木香、花香	2.377	（E）-2-己烯醛 青味、动物脂肪香	2.750	（E）-2-己烯醛 青味、动物脂肪香	4.267	己醛 青草气、粗青气	2.569
10	（E）-2-己烯醛 青味、动物脂肪香	2.206	（E）-2-己烯醛 青味、动物脂肪香	2.356	反式芳樟醇 3,7-氧化物 强木香、花香	2.016	（E,E）-2,4-庚二烯醛 脂肪香	2.493	己醛 青草气、粗青气	1.736	己醛 青草气、粗青气	2.368	乙酸 刺激气味	1.705	水杨酸甲酯 冬青味	1.874
总量		64.582		70.138		70.751		65.625		76.107		68.566		70.542		73.759

3 结论与讨论

FAA 可溶于水，是茶汤滋味的重要组成部分，人体通过饮茶获得味觉享受的同时也可摄取到多种氨基酸。在茶叶中已发现的 FAA 有二十多种，很多本身就是滋味因子，如茶氨酸有类似味精的鲜爽味和焦糖香气、谷氨酸有甜味和酸味、天冬氨酸有甜味、甘氨酸有独特的甜味、缬氨酸味微甜而后苦，组氨酸、亮氨酸、酪氨酸具有苦味[29,54-55]。本研究中，在 8 株大厂茶茶叶中，除了在 Q_7 中检测到 24 种 FAA 组分、在 Q_8 中检测到 23 种，在其余 6 株中均检测到 25 种,这 25 种 FAA 组分平均含量为 0.048 ~ 3.276 mg·g^{-1}。茶氨酸作为茶叶中特有的 FAA 组分，其含量和在 FAA 总量中的占比都最高，这与前人的研究结果[22-23]相一致，说明茶氨酸是 FAA 中最重要的组分，也是茶叶鲜爽味的主要组分。检测到的 7 种必需氨基酸（赖氨酸、色氨酸、苯丙氨酸、苏氨酸、异亮氨酸、亮氨酸、缬氨酸）中，色氨酸为第一限制氨基酸。方差分析能有效检验均数差别的显著性，本研究中，25 种 FAA 组分含量及总量的变异系数为 11.513% ~ 64.536%。多重比较结果显示，除了 7 种 FAA 组分在部分样树之间的差异不显著外，剩余样树之间的这 7 种 FAA 组分，以及其余 18 种组分和 FAA 总量在 8 株大厂茶之间的差异都较显著。这些都说明 8 株大厂茶之间的 FAA 差异较显著、多样性较丰富。

8 株大厂茶茶叶的 25 种 FAA 组分中，呈鲜甜味[29,54-55]的 FAA 组分有 12 种，含量为 5.913 ~ 13.529 mg·g^{-1}，在 FAA 总量中的占比为 56.853% ~ 71.872%，说明呈鲜甜味的组分在总组分中占绝对优势，这可能是茶汤中鲜爽味及甜味的重要来源。但是由于茶汤滋味是由多种复杂的呈味物质综合形成，例如涩味受茶多酚类、茶黄素影响，苦味受生物碱类、花青素类、茶皂素影响，鲜爽味受氨基酸、茶黄素、儿茶素、咖啡碱络合物影响，甜味受氨基酸、可溶性糖类影响，酸味受有机酸、氨基酸影响，咸味受无机盐影响[22-23]，因此，对大厂茶茶叶滋味的进一步研究还应结合其他内含物成分。

如何有效地对种质资源进行评价，是优良种质筛选的关键，但是在利用多指标进行综合评判时，其分析结果常常会受到研究者主观意志的影响。主成分分析能将多个变量组合为几个新的综合变量，并找出数量较少又能尽可能多地反映原始变量信息的综合变量，从而达到简化的目的，既能反映原始变量的大部分信息，又能使所含信息不重复，因此广泛应用于品质综合评价及品质特征指标筛选中[57-65]。本研究中大厂茶茶叶中 25 种 FAA 组分经主成分分析可简化为 4 个主成分因子(PC1、PC2、PC3、PC4)，前 4 个主成分的累积贡献率为 87.825%，丝氨酸等 13 个组分反映了 PC1 对 FAA 的作用，缬氨酸等 6 个组分反映了 PC2 对 FAA 的作用，精氨酸等 3 个组分反映了 PC3 对 FAA 的作用，脯氨酸等 3 个组分反映了 PC4 对 FAA 的作用，因此，可以认为全部（25 种）FAA 组分才能反映出大厂茶 FAA 的特性，每种组分在 FAA 中都有自己的特性和贡献。

8 株大厂茶中 VAC 的挥发规律基本一致，大部分 VAC 保留时间都在 4 ~ 45 min，随着色谱柱柱温的升高，挥发出的 VAC 的量逐渐增多，到 117℃左右（保留时间 24 min 左右）达到最大值，随后下降，说明在大厂茶茶叶中以低沸点（200℃以下）VAC 的含量占了绝大部分。

从 8 株大厂茶茶叶中共鉴定出 VAC 组分 104 种，可分为醇类、醛类、酮类、烃类等 10 类化合物，以醇类、醛类为基础。主要呈香物质[22-23]包括 15 种，其中醇类有 7 种、醛类有 5 种、酮类有 2 种、酯类有 1 种，平均含量为 76.688%，这与 SONG[66]挥发性化合物中只有很少一部分在特征香气的呈现中起主要作用的观点一致。在 8 株大厂茶茶叶中都含有 10 类化合物，VAC 组分种类丰富（为 79 ~ 94 种），但是 8 个单株的茶叶中每类化合物包含的 VAC 组分种类以及 VAC 组分含量占提取物总量百分比都存在一定差异。在 8 株大厂茶茶叶中，以 Q_5 的主要呈香物质含量最高（79.488%），Q_8 的次之（79.284%），Q_1 的最低（70.808%）。从主要呈香物质的种类看，除 Q_5 中只含 14 种外，其余 7 株中均含 15 种。但剔除单株中含量小于 1%的主要呈香物质组分后，Q_3、Q_4、Q_6 的实际主要呈香物质为 15 种，Q_1、Q_2 为 14 种，Q_7、Q_8 为 12 种，Q_5 仅为 11 种，说明 15 种主要呈香物质对 8 个样株茶叶香味的贡献也存在一定的差异。

根据香气特征[56]对 8 株大厂茶茶叶中排名前十位的 VAC 组分进行分析，发现前十位 VAC 组分含量总和为 64.582% ~ 76.107%，在总含量中占比较大，说明这 10 个组分的香气特征可能是大厂茶表现出花香味、果香味、

木香味、青草气、脂肪香味的重要因素，在大厂茶成茶加工中形成其独特的香气特征方面可加以利用。但是由于茶叶香气还受其他生化成分、茶叶香气前体物质[19-20]、加工过程中物质转化等影响，因此对大厂茶香气的进一步研究还应结合生物化学、酶学、加工工艺学等进行。

本研究中，对大厂茶茶叶中 FAA 的组分、含量、特性、呈味特征，VAC 的组分种类、含量、主要呈香物质含量和贡献、香气特征等的研究结果，为大厂茶的进一步深入研究提供了基础数据，在后期的优良单株选育、优质原材料筛选及成茶加工中都可进行运用。

参考文献：

[1] 张芳赐. 云南山茶属的二新种[J]. 云南植物研究，1980（03）：341－344.
[2] 张宏达. 茶叶植物资源的订正[J] . 中山大学学报（自然科学版），1984（1）：1－12.
[3] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志：第四十九卷 第三分册 山茶科（一）山茶亚科[M]. 北京：科学出版社，1998.
[4] 闵天禄. 山茶属茶组植物的订正[J]. 云南植物研究，1992（02）：115－132.
[5] 闵天禄，张文驹. 山茶属植物的进化与分布[J]. 云南植物研究，1996（01）： 1－13.
[6] 闵天禄. 山茶属的系统大纲[J]. 云南植物研究，1999（02）：21－31.
[7] 陈亮，虞富莲，童启庆. 关于茶组植物分类与演化的讨论[J]. 茶叶科学，2000（02）：89－94.
[8] 李泽贤. 浅析生态茶园对茶叶品质的影响[J]. 贵州茶叶，2011，39（2）：10－12.
[9] 钟萝. 茶叶质量检验技术手册[M]. 国家茶叶质量监督检验中心，1991：4.
[10] 段凤敏，张绍旺，邵维炯，等. 云南凤庆大叶种晒青茶茶多酚提取工艺优化及抗氧化研究[J]. 中国测试，2019，45（5）：66－73.
[11] 张芬，温立香，彭靖茹，等. 六堡茶渥堆过程中主要生化成分和茶汤色泽变化及其相关性研究[J]. 食品科技，2019，44（2）：83－87.
[12] 李友勇，方成刚，孙雪梅，等. 滇南古树晒青茶品质化学成分特征研究[J]. 西南农业学报，2014，27（5）：1874－1883.
[13] 邹斌. 不同年份普洱茶品质比较研究[J]. 广东茶业，2019（6）：16－23.
[14] 中川致之，周巨根. 绿茶滋味与化学成分的关系[J]. 茶叶，1983（03）：66.
[15] 茶 游离氨基酸总量的测定. GB/T 8314—2013[S]. 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局;中国国家标准化管理委员会，2013.
[16] 叶乃兴. 茶叶品质性状的构成与评价[J]. 中国茶叶，2010（8）：10－11.
[17] RAWAT R，GULATI A，BABU G D K，et al. Characterization of volatile components of kangra orthodox black tea by gas chromatographymass spectrometry[J]. Food Chem，2007，105（1）：229－235.
[18] 茶叶感官审评方法. GB/T 23776—2018[S]. 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局;中国国家标准化管理委员会，2018.
[19] OGAWA K，IJIMA Y，GUO W F，et al. Purification of a β-primeverosidase concerned with alcoholic aroma formation in tea leaves (Cv. Shuixian) to be processed to oolong Tea[J]. J Agric Food Chem，1997，45（3）：877－882.
[20] 马军辉. HS-SPME-GC-MS 检测茶叶内挥发性组分方法的建立及应用[D]. 杭州：浙江大学，2008.
[21] 梁月荣. 现代茶业全书[M]. 北京：中国农业出版社，2011，264－275.
[22] 宛晓春. 茶叶生物化学[M]. 北京：中国农业出版社，2003.
[23] 钟萝. 茶叶品质理化分析[M]. 上海：上海科学技术出版社，1989.
[24] 陆锦时，魏芳华，李春华. 茶树新梢中主要游离氨基酸含量及组成对茶树品种品质的影响[J]. 西南农业学报，1994（S1）：13－16.
[25] 岳婕，李丹，杨春，等. 不同茶树品种氨基酸组分及含量分析[J]. 湖南农业科学，2010（23）：141－143.
[26] 杨春，李端生，王庆，等. 江华苦茶资源的氨基酸组分含量及组成分析[J]. 氨基酸和生物资源，2012，34（04）：13－16.
[27] 刘东娜，郑晓娟，卿钰，等. 蒙顶山名茶游离氨基酸总量及组分的测定分析[J]. 四川农业大学学报 2012，30（02）：190－194+209.
[28] 陈丹，叶小辉，俞滢，等. 不同等级云南红碎茶的氨基酸组分分析[J]. 福建茶叶，2014，36（04）：24－26.
[29] 张丹丹，叶小辉，赵峰，等. 基于游离氨基酸组分的白茶滋味品质研究[J]. 福建农业学报，2016，31（05）：515－520.
[30] 陈然，孟庆佳，刘海新，等. 不同种类茶叶游离氨基酸组分差异分析[J]. 食品科技，2017，42（06）：258－263.
[31] 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（02）：115－123.
[32] 张健，章苏宁，田怀香，等. 不同品种茶叶有效成分及香气特征的比较分析[J]. 食品工业，2011，32（04）：90－93.
[33] 齐冬晴. 不同茶树品种（品系）鲜叶香气及其表型差异的研究[D]. 长沙：湖南农业大学，2015.
[34] 蒋陈凯，李应祥，黄亚辉，等. 都匀毛尖茶香气物质分析[J]. 食品科学，2016，37（16）：168－172.
[35] 乔阳. 基于 GC-MS 及电子鼻的云南红茶香气成分的研究[D]. 天津：天津科技大学，2016.
[36] 王鹏杰，张丹丹，邱晓红，等. 基于 GC-MS 和电子鼻技术的武夷岩茶香气分析[J]. 福建茶叶，2017，39（01）：16－18.
[37] 汤莎莎，芦晨阳，周君，等. 基于电子鼻和 HS-SPME-GC-MS 技术解析乌牛早茶的挥发性风味物质[J]. 食品工业科技，2018，39（14）：

223－230.
[38] 范培珍，王梦馨，崔林，等. 不同等级霍山黄芽茶叶香气成分定性定量分析与评价[J]. 热带作物学报，2018，39（03）：595－599.
[39] 陈林，余文权，张应根，等. 基于 SDE 和 HS-SPME/GC-MS 的乌龙茶香气组成特征分析[J]. 茶叶科学，2019（06）：692－704.
[40] 陈婧，毛启培，孙成均，等. SPME-GC/MS 结合主成分分析检测竹叶青茶挥发性香气成分[J]. 现代预防医学，2019，46（21）：3969－3976.
[41] 李张伟. 凤凰单丛茶老枞茶树和新枞茶树茶叶的香气和生化成分比较[J]. 食品与发酵工业，2019，45（05）：224－230.
[42] 吴函殷，刘晓辉，罗龙新，等. 12 种单丛茶香气成分研究[J]. 食品工业科技，2019，40（19）：234－239.
[43] 林燕萍，张见明，陈泉宾，等. 有机白茶和常规白茶品质差异分析[J]. 食品研究与开发，2020，41（19）：151－156.
[44] 罗冬兰，邵勇，巴良杰，等. 贵州四种名优茶叶的电子鼻鉴别与香气成分分析[J]. 保鲜与加工，2020，20（03）：183－190.
[45] 辛涣涛，陈育兰，李强，等. 三种香型的凤凰单枞茶古茶树茶叶香气物质的分析和鉴定[J]. 江西化工，2020（02）：93－97.
[46] 林蒙嘉. 普白大树茶资源调查[J]. 茶叶，1983（02）：14－16.
[47] 折改梅，张香兰，陈可可，等. 茶组植物中茶氨酸和没食子酸的高压液相色谱分析[J]. 云南植物研究，2008（02）：246－248.
[48] 张婷，刘海燕，邹天才. 贵州 8 种野生山茶叶片主要化学成分的含量[J]. 贵州农业科学，2010，38（11）：78－80.
[49] 虞富莲. 中国古茶树[M]. 昆明：云南科技出版社，2016：202－221.
[50] 杜琪珍，李名君，刘维华，等. 茶组植物的化学分类及数值分类[J]. 茶叶科学，1990（02）：1－12.
[51] 陈亮，虞富莲，左志明. 广西茶树种质资源考察研究初报[J]. 广西农业科学，1996（02）：7－80.
[52] 农作物种质资源鉴定技术规程 茶树 NY/T 1312—2007 [S]. 北京：中华人民共和国农业部，2007.
[53] 杨卫，鲜殊，李大祥，等. 邻苯二甲醛柱前衍生反相高效液相色谱法测定茶叶中 17 种游离氨基酸[J]. 茶叶科学，2011，31（03）：211－217.
[54] 周秀琴. 日本天然调味料开发现状[J]. 中国调味品，1993（11）：3－10.
[55] 陈艳萍，张晓鸣. 菌菇柄酶解物美拉德反应前后风味变化的研究[EB/OL]. 北京：中国科技论文在线[2012－08－03]. http：//www.paper.edu.cn/releasepaper/content/201208－39.
[56] 陆松候，施兆鹏. 茶叶审评与检验[M]. 北京：中国农业出版社，2001：36－37.
[57] GAO B Y，LU Y J，SHENG Y，et al. Differentiating organic and conventional sage by chromatographic and mass spectrometry flow injection fingerprints combined with principal component analysis[J]. J Agric Food Chem，2013，61（12）：2957－63.
[58] 申明金，陈丽，曹洪斌. 通草类中药微量元素的主成分分析和聚类分析[J]. 化学分析计量，2013，22（06）：32－35.
[59] 薛敏，高贵田，赵金梅，等. 不同品种猕猴桃果实游离氨基酸主成分分析与综合评价[J]. 食品工业科技，2014，35（05）：294－298.
[60] 唐忠厚，魏猛，陈晓光，等. 不同肉色甘薯块根主要营养品质特征与综合评价. 中国农业科学，2014，47（9）：1705－1714.
[61] 邹瑶，齐桂年，刘婷婷，等. 四川黑茶渥堆中品质成分的主成分及聚类分析[J]. 食品工业科技，2014，35（15）：304－307.
[62] 李志伟. 基于主成分分析法的茶叶特征性指标分类[J]. 安徽农业科学，2014，42（07）：2109－2110，2160.
[63] 李俊芳，马永昆，张荣，等. 不同果桑品种成熟桑椹的游离氨基酸主成分分析和综合评价[J]. 食品科学，2016，37（14）：132－137.
[64] 侯娜，赵莉莉，魏安智，等. 不同种质花椒氨基酸组成及营养价值评价[J]. 食品科学，2017，38（18）：113－118.
[65] 汪灿，周棱波，张国兵，等. 薏苡种质资源苗期抗旱性鉴定及抗旱指标筛选. 中国农业科学，2017，50（15）：2872－2887.
[66] SONG H L，CADWALLADER K R，SINGH T K. Odor-active compounds of Jinhua ham[J]. Flav Fragr，2008，23（1）：1－6.