

GC-MS结合电子鼻技术对不同茶区茉莉花茶香气的差异比较

李璐¹, 尹礼国², 陆安霞^{1,3*}, 王秋卫¹, 陈丽¹, 赵先明^{1,3}, 黄彤^{1,3}

(1. 宜宾学院农林与食品工程学部, 四川宜宾 644000)(2. 固态发酵资源利用四川省重点实验室, 四川宜宾 644000)(3. 精制川茶四川省重点实验室, 四川宜宾 644000)

摘要: 为探究不同产区茉莉花茶香气差异, 采用气相色谱-质谱 (Gas Chromatography-Mass Spectrometry, GC-MS) 结合电子鼻 (Electronic Nose, E-nose) 技术对西南、华南、江南三大茶区的 8 种茉莉花茶进行香气研究。结果表明, 8 个样品共鉴定出香气成分 58 种, 其中西南、江南、华南茶区分别为 45 种、51 种、47 种。江南茶区香气化合物总量最高。共有香气成分主要包括邻氨基苯甲酸甲酯、顺式-3-己烯醇苯甲酸酯、乙酸苄酯、水杨酸甲酯、芳樟醇、吲哚等。其中水杨酸甲酯在江南茶区含量最高 (22.32 $\mu\text{g/g}$), 分别较华南、西南茶区高 33.96%、68.01%; 邻氨基苯甲酸甲酯 (67.39 $\mu\text{g/g}$) 和吲哚 (43.84 $\mu\text{g/g}$) 含量在华南茶区最高。茉莉花茶香气评价指数 (Jasmine Tea Flavor Index, JTF index) 分析表明西南茶区样品等级最高。香气聚类分析将共有香气成分分为 3 类, 分别呈花香、茉莉花香和草木香。通过电子鼻技术可知样品香气物质变化与硫化物、碳氢化合物、芳香化合物有关, 并能有效区别样品香气。综上, 三大茶区样品香气种类差异不明显, 但各香气成分含量差异显著 ($P < 0.05$), 江南和华南茶区的样品特征性香气成分含量较高, 西南茶区样品综合指数高。

关键词: 香气; 茉莉花茶; 气相色谱-质谱法 (GC-MS); 电子鼻; 茉莉花茶香气评价指数 (JTF index)

文章编号: 1673-9078(2024)02-302-311

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2024.2.0203

Comparison of Jasmine Tea Aroma in Different Tea Regions by GC-MS and Electronic Nose

LI Lu¹, YIN Ligu², LU Anxia^{1,3*}, WANG Qiuwei¹, CHEN Li¹, ZHAO Xianming^{1,3}, HUANG Tong^{1,3}

(1. Yibin University, Faculty of Agriculture, Forestry and Food Engineering, Yibin 644000, China)

(2. Solid-state Fermentation Resource Utilization Key Laboratory of Sichuan Province, Yibin 644000, China)

(3. Tea Refining and Innovation Key Laboratory of Sichuan Province, Yibin 644000, China)

Abstract: To investigate the aroma differences among the jasmine teas from different production regions, gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) combined with the electronic nose (E-nose) technique was used to investigate the aromas of eight jasmine teas from three major tea regions, namely, the Southwest China, South China and Jiangnan. The

引文格式:

李璐, 尹礼国, 陆安霞, 等. GC-MS结合电子鼻技术对不同茶区茉莉花茶香气的差异比较[J]. 现代食品科技, 2024, 40(2): 302-311.

LI Lu, YIN Ligu, LU Anxia, et al. Comparison of jasmine tea aroma in different tea regions by GC-MS and electronic nose [J]. Modern Food Science and Technology, 2024, 40(2): 302-311.

收稿日期: 2023-02-23

基金项目: 宜宾学院校级培育项目 (412-2021PY04)

作者简介: 李璐 (2000-), 女, 本科, 研究方向: 茶叶加工与品质化学, E-mail: 1296500570@qq.com

通讯作者: 陆安霞 (1994-), 女, 硕士, 助教, 研究方向: 茶叶加工与品质化学, E-mail: 974924539@qq.com

results showed that a total of 58 aroma components were identified in the eight samples, with 45, 51 and 47 from the Southwest, Jiangnan and South China tea regions, respectively. The total number of aroma compounds was the highest in the tea from Jiangnan region. The common aroma components included mainly methyl *o*-aminobenzoate, *cis*-3-hexenyl benzoate, benzyl acetate, methyl salicylate, linalool, indole, etc. The content of methyl salicylate was the highest in the tea from Jiangnan region (22.32 $\mu\text{g/g}$), which was 33.96% and 68.01% higher than those from South and Southwest China tea regions, respectively; The contents of methyl *o*-aminobenzoate (67.39 $\mu\text{g/g}$) and indole (43.84 $\mu\text{g/g}$) were the highest in the tea from South China region. Analysis of the Jasmine Tea Flavor Index (JTF index) showed that the samples from the Southwest tea region had the highest grade. The aroma clustering analysis classified the common aroma components into three categories, which were floral, jasmine and herbaceous aromas respectively. By using the electronic nose technique, it was found that the variations among the aroma substances in the tea samples were related to sulfides, hydrocarbons and aromatic compounds. The electronic nose technique could effectively distinguish the teas' aromas. In conclusion, the differences in the aroma types among the tea samples from the three tea regions were insignificant, but the contents of individual aroma components were significantly different ($P < 0.05$). The tea samples from Jiangnan and South China tea regions had higher contents of characteristic aroma components, whilst the tea samples from the Southwest tea region had a high comprehensive index.

Key words: aroma; jasmine tea; gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS); electronic nose; jasmine tea flavor index (JTF index)

茉莉花茶是中国的代表性历史名茶之一，生产基地主要分布在西南、江南和华南三大茶区^[1]。原料主要是新鲜的茉莉花和烘青绿茶茶坯，经过窈制后，茉莉花的香气可以充分被茶坯吸附，香气是决定茉莉花茶品质的重要因子^[2]，目前，对茉莉花茶香气研究已有报道，陈梅春等^[3]利用固相微萃取-气相色谱-质谱法（Solid Phase Microextraction-Gas Chromatography-Mass Spectrometry, SPME-GC-MS）测定茉莉花香气成分，发现芳樟醇、乙酸苜酯、 α -法呢烯和顺式-3-己烯醇苯甲酸酯是茉莉花茶特征香气成分，而茉莉花茶的品质与芳樟醇/（苯甲醇+顺式-3-己烯醇苯甲酸酯+乙酸苜酯+氨茴酸甲酯+苯甲酸甲酯）的浓度比呈负相关^[4]。安会敏等^[5]认为影响茉莉花茶香气的是具“花香”属性的苯甲醇、芳樟醇、苯甲酸甲酯、乙酸苜酯、2-氨基苯甲酸甲酯；影响其鲜灵度的是具有“清香”属性的3-己烯-1-醇、乙酸叶醇酯、水杨酸甲酯、顺式-3-己烯基异戊酸酯、顺式-3-己烯基苯甲酸酯、吲哚和 α -法呢烯。张俊杰等^[6]对不同窈制次数的茉莉花茶香气成分进行分析得到，芳樟醇、乙酸苜酯、顺式-3-苯甲酸叶醇酯、氨茴酸甲酯、苜醇和吲哚是其共同含有且相对含量较高的的香气成分。影响茉莉花茶香气品质的因素有鲜花品质^[5]、加工工艺^[6]等，但根据不同地区分类对茉莉花茶香气的研究较少。

顶空固相微萃取（Solid-Phase Microextraction, SPME）技术是一种较为高效的萃取方法，能更好

的萃取较易挥发的物质^[7]。气相色谱-质谱（Gas Chromatography-Mass Spectrometry, GC-MS）联用技术是目前茶叶香气分析中最常用的检测技术，多与顶空固相微萃取联用^[8]。电子鼻（Electronic Nose, E-nose）又称气味扫描仪，具有快速检测分析样品的特定气味的传感器阵列^[9]，已经广泛应用于许多领域^[10-12]，并且具有对不同等级的茶叶、茶汤以及叶底挥发物的监测潜力，江昕田等^[13]表明电子鼻技术可用于特种茉莉花茶香气品质的区分和识别。GC-MS可得到样品中各成分定性定量的结果，仅仅使用该方法不能很好的分析成分之间的关系，将GC-MS与电子鼻技术结合可以同时从不同角度对样品香气进行分析^[14]。本研究为了有效区分不同产区的茉莉花茶香气品质，运用SPME-GC-MS结合电子鼻技术对不同地区的茉莉花茶样品进行香气鉴定及区分，旨在分析不同地区茉莉花茶香气成分的差异，为鉴定茉莉花茶香气品质特征提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

选择三大茶区具有代表性的8个茉莉花茶茶样，购于各茶叶品牌官方旗舰店，均为厂家定级为一级的茉莉花茶成品茶，详情见表1；癸酸乙酯（体积分数99%），美国Sigma公司。

DFT-100A型100克手提式高速万能粉碎机，温

岭市林大机械有限公司；57328-U 50/30um DVB/CAR/PDMS 手动进样器和手动固相微萃取头，美国 Supelco 公司；78HW-1 型恒温加热磁力搅拌器，杭州仪表电机有限公司；手动 SPME 进样器和 75 μm

CAR/PDMS 萃取头，美国 Supelco 公司；GC-MS 气相色谱-质谱联用仪（7890GC 型气相色谱仪，5975 型质谱仪），美国 Agilent Technologies 公司；PEN3 型电子鼻，德国 Airsense 公司。

表 1 试验材料编号及产地

Table 1 Number and origin of test material

试验材料(编号)	产地	绿茶原料	茉莉花来源	窈制工艺	
西南茶区	四川茉莉花茶(A1)	四川省宜宾市	四川犍为	三窈一提	
	云南茉莉花茶(A2)	云南省元江县	云南元江	七窈一提	
	重庆茉莉花茶(A3)	重庆市	广西横县	七窈一提	
江南茶区	安徽茉莉花茶(B1)	安徽省黄山市	烘青绿茶	广西横县	四窈一提
	江苏茉莉花茶(B2)	江苏省苏州市		江苏苏州	四窈一提
	浙江茉莉花茶(B3)	浙江省杭州市		广西横县	三窈一提
华南茶区	福建茉莉花茶(C1)	福建省福州市	福建福州	三窈一提	
	广西茉莉花茶(C2)	广西省横县	广西横县	四窈一提	

1.2 实验方法

1.2.1 GC-MS测定

试验方法参照陆安霞等^[7]的方法。

1.2.1.1 样品前处理

顶空固相微萃取(HS-SPME)取样检测方法:用电子天平称取 1.0 g 茶样,然后将其放入 25 mL 的顶空萃取瓶中,加入 2.0 g 氯化钠和 20 μL 50 $\mu\text{L}/\text{L}$ 的内标癸酸乙酯溶液,然后再加入 5 mL 沸水迅速将萃取瓶密封,将经过 GC-MS 进样口老化(300 $^{\circ}\text{C}$, 5 min)后的萃取头插入萃取瓶中,将萃取瓶放在 60 $^{\circ}\text{C}$ 水浴中平衡 5 min 后,萃取 55 min。萃取完成后立即进行 GC-MS 分析,每个样品进行生物学重复三次。

1.2.1.2 GC 条件

色谱柱:HP-5 石英毛细管柱(30 m \times 0.25 mm, 0.25 μm);升温程序:40 $^{\circ}\text{C}$ 保持 2 min,以 3 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 的速度上升到 85 $^{\circ}\text{C}$ 保持 2 min,以 2 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 的速度上升至 110 $^{\circ}\text{C}$ 后,以 10 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 的速度升至 230 $^{\circ}\text{C}$ 保持 2 min;载气高纯氦气(99.999%);流量为 1.0 mL/min;压力 50.5 kPa;不分流进样,溶剂延迟 3 min。

1.2.1.3 MS 条件

电子电离源;电子能量 70 eV;离子源温度 230 $^{\circ}\text{C}$;接口温度 230 $^{\circ}\text{C}$;质量扫描范围 m/z 40~400;真空系统为分子涡轮泵。

1.2.2 电子鼻测定

试验方法参照薛大为等^[15]的方法,具体步骤为:茶样按照茶叶感官审评的要求,茉莉花瓣、花蒂、

花萼等其它花类夹杂物剔除,并按规定称取 3.0 g。用沸水烫热 150 mL 的精制茶评茶杯和 350 mL 量杯,再将称量好的茶叶置于评茶杯中,注满沸水,加盖浸泡 5 min,然后快速将茶水滤出至量杯中,用保鲜膜将评茶杯和量杯密封,立即进行叶底香气检测。茶汤密封静置 50 min 后,使水温冷却至室温,室温保持 20 $^{\circ}\text{C}$,检测茶汤香气。每个样品进行生物学重复三次。气体流量 400 mL/min,采样时间间隔 1 s,洗气时间 80 s,预采样时间 5 s,样品检测时间 80 s。该电子鼻包含 10 个金属氧化物传感器阵列,其传感器阵列及性能描述见表 2。

表 2 电子鼻传感器阵列及性能描述

Table 2 Electronic nose sensor array and performance description

传感器名称	传感器响应特性
W1C (S1)	对芳香成分灵敏(茶类)
W5S (S2)	对氮氧化物灵敏(氮氧化物)
W3C (S3)	对氨水、芳香成分灵敏(胺类)
W6S (S4)	对氢气有选择性(氢化物)
W5C (S5)	对烷烃、芳香成分灵敏(短链烷烃)
W1S (S6)	对甲烷灵敏(甲基类)
W1W (S7)	对硫化物灵敏(无机硫化物类)
W2S (S8)	对乙醇灵敏(醇类)
W2W (S9)	对芳香成分和有机硫化物灵敏
W3S (S10)	对烷烃灵敏(长链烷烃)

1.2.3 数据处理

将 GC-MS 检测得到的数据通过 NIST 标准谱库并且结合文献的标准谱图进行检索,对香气组分进行定性分析,根据色谱峰面积与内标物癸酸乙酯面

积之比进行定量分析。使用 SPSS 21.0 对数据进行显著性分析以及香气聚类分析。电子鼻检测得到的数据利用 Winmuster 分析软件进行线性判别分析和负荷加载分析。

2 结果与讨论

2.1 不同产区茉莉花茶的GC-MS数据分析

GC-MS 对不同产区茉莉花茶香气总量差异如图 1 所示, 不同产区的茉莉花茶香气化合物总量平均值以江南茶区最高 (397.54 $\mu\text{g/g}$), 分别较华南、西南茶区高 17.70%、65.33%, 其中酯类物质香气含量最高, 酸类、醛类、酮类含量极低, 说明酯类构成了茉莉花茶香气的主要成分, 这与安会敏等^[16]研究结果一致。

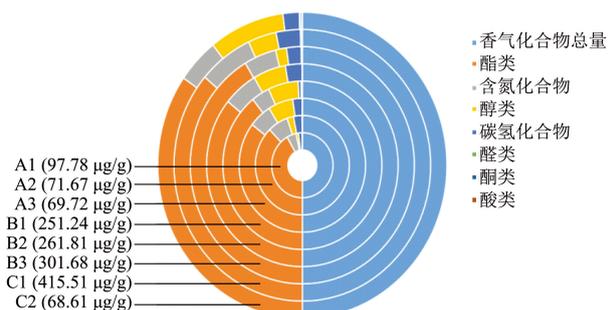


图 1 不同茶区茉莉花茶香气总量差异

Fig.1 Differences in the total aroma content of jasmine tea from different tea regions

不同产区茉莉花茶样品的香气成分鉴定结果如表 3 所示。不同产区的茉莉花茶香气种类存在一定的差异, 西南茶区样品检测出的香气组分 45 种, 华南茶区样品 51 种, 江南茶区 47 种, 各类香气组分数目从大到小依次为碳氢化合物 (23 种)、酯类 (17 种)、醇类 (11 种)、酮类 (2 种)、含氮化合物 (2 种)、酸类 (1 种)、醛类 (1 种)、酚类 (1 种)。在所有样品中均占主要成分的有 α -法呢烯、苯甲醇、苯甲酸甲酯、邻氨基苯甲酸甲酯、顺式-3-己烯醇苯甲酸酯、水杨酸甲酯、乙酸苄酯和吲哚, 安会敏等^[5]研究结果显示, 以上香气物质属于区分绿茶素坯和茉莉花茶的主要香气成分并且为茉莉花茶的特征香气成分。

在西南和江南茶区样品中检测到含量平均最高的香气成分相同, 依次为乙酸苄酯 (52.31、157.14 $\mu\text{g/g}$)、邻氨基苯甲酸甲酯 (17.77、52.22 $\mu\text{g/g}$)、吲哚 (16.21、37.42 $\mu\text{g/g}$)、顺式-3-己烯醇苯甲

酸酯 (13.46、30.38 $\mu\text{g/g}$)、水杨酸甲酯 (7.14、22.32 $\mu\text{g/g}$)。在华南茶区样品中检测到含量平均最高的香气成分依次为乙酸苄酯 (94.12 $\mu\text{g/g}$)、邻氨基苯甲酸甲酯 (67.39 $\mu\text{g/g}$)、吲哚 (43.84 $\mu\text{g/g}$)、苯甲酸甲酯 (18.36 $\mu\text{g/g}$)、芳樟醇 (18.06 $\mu\text{g/g}$)。

2.1.1 酯类

大部分酯类化合物具有花香和果香^[17], 江南茶区样品中含量平均值最高 (308.90 $\mu\text{g/g}$), 分别较华南、西南茶区高 25.17%、65.72%。陈梅春等^[3]认为水杨酸甲酯、苯甲酸甲酯、顺式-3-己烯醇苯甲酸酯是茉莉花茶的特征性香气成分, 在江南茶区中具有冬青味的水杨酸甲酯^[18]含量较华南、西南茶区高 33.96%、68.01%; 具有花香的苯甲酸甲酯^[5]含量在华南茶区中分别较江南、西南茶区高 8.88%、67.86%, 两种成分在三个茶区样品中具有显著性差异; 在江南茶区中具有草本香的顺式-3-己烯醇苯甲酸酯^[19]含量分别较华南、西南茶区高 65.31%、55.69%。呈橙花果香的邻氨基苯甲酸甲酯^[20]在华南茶区中分别较江南、西南茶区高 22.51%、73.63%, Shen 等^[2]研究认为茉莉花茶中的邻氨基苯甲酸甲酯主要来源于窈制过程中的茉莉鲜花, 各产区该物质含量存在差异可能与各产区茉莉鲜花品质相关。具有茉莉花香的乙酸苄酯^[21]在所有茉莉花茶样品含量均最高, 其中江南茶区中的平均值最高, 分别较华南、西南茶区高 40.10%、66.71%, 这与安会敏等^[16]研究结果一致。

2.1.2 醇类

醇类化合物通常带有特殊的花香和果香^[22], 江南茶区样品中含量平均值最高 (34.32 $\mu\text{g/g}$), 分别较华南、西南茶区高 62.79%、74.27%。王淑燕等^[19]指出苯甲醇是茉莉花茶的特征香气成分, 且可以增加茉莉花茶中的甜香与烘焙香^[23], 本实验样品中苯甲醇含量在华南茶区样品是西南茶区样品的 3 倍。

2.1.3 酮类

酮类化合物中具果香的甲基庚烯酮^[24]在华南茶区样品中含量平均值最高 (0.32 $\mu\text{g/g}$), 分别比江南、西南茶区高 18.75%、59.38%, 而具紫罗兰香的 β -紫罗兰酮^[25]在江南茶区中的含量平均值最高, 是华南茶区的 2 倍。

表3 茉莉花茶样品的香气物质成分

Table 3 Aroma substance composition of jasmine tea samples ($\mu\text{g/g}$)

序号	中文名	英文名	保留时间/min	A1	A2	A3	B1	B2	B3	C1	C2	香气属性
碳氢化合物												
1	间二甲苯	M-Xylene	9.111	—	0.62±0.31 ^a	0.04±0.02 ^a	—	—	—	1.07±0.54 ^a	0.07±0.04 ^a	强芳香气味
2	乙烯	Ethylene	12.555	—	—	—	0.17±0.09 ^a	0.07±0.01 ^a	—	0.51±0.26 ^a	—	烃类特有的气味
3	蒎烯	(1R)-(+)- α -Pinene	17.654	0.21±0.11 ^a	—	0.09±0.05 ^a	—	0.27±0.14 ^a	—	—	0.04±0.02 ^a	—
4	β -蒎烯	β -Pinene	31.075	—	—	—	—	—	—	0.83±0.22	—	树脂香
5	左旋- β -蒎烯	(1S)-(1)- β -Pinene	31.116	0.05±0.03 ^b	0.34±0.17 ^b	—	—	0.49±0.20 ^{ab}	0.60±0.08 ^a	—	0.21±0.10 ^b	—
6	3-萜烯	3-Carene	42.671	0.02±0.01 ^a	—	0.03±0.02 ^a	—	0.03±0.02 ^a	0.07±0.04 ^a	0.33±0.17 ^a	0.07±0.03 ^a	—
7	α -柏木烯	(-)- α -Cedrene	45.713	—	—	—	—	0.09±0.05	—	—	—	—
8	衣兰烯	Ylangene	46.683	—	—	0.12±0.06 ^a	0.04±0.02 ^a	0.16±0.07 ^a	—	—	—	—
9	(-)- α -葑烯茄油烯	(-)- α -Cubebene	46.701	0.02±0.01 ^b	0.05±0.03 ^b	0.11±0.09 ^b	0.14±0.09 ^b	0.16±0.06 ^{ab}	0.50±0.25 ^a	0.28±0.06 ^{ab}	0.07±0.02 ^b	—
10	(Z, E)- α -法尼烯	(Z,E)- α -Farnesene	47.168	0.13±0.08 ^a	—	0.24±0.12 ^a	—	0.31±0.16 ^a	0.24±0.12 ^a	0.33±0.17 ^a	—	—
11	α -姜黄烯	α -Curcumene	47.644	0.05±0.02 ^a	0.06±0.03 ^a	0.20±0.10 ^a	—	0.21±0.09 ^a	0.24±0.06 ^a	0.18±0.04 ^a	—	—
12	α -蒎烯	(-)- α -Copaene	48.040	—	—	—	0.03±0.02 ^b	0.04±0.02 ^b	—	0.44±0.18 ^a	0.06±0.03 ^b	松木香
13	α -香柠檬烯	α -Bergamotene	48.111	0.07±0.04 ^b	0.22±0.11 ^b	0.03±0.02 ^b	—	0.70±0.27 ^{ab}	0.51±0.26 ^{ab}	1.08±0.27 ^a	0.10±0.04 ^b	—
14	(+)-环苜蓿烯	(+)-Cyclosativene	48.220	—	—	—	—	—	—	0.85±0.43	—	—
15	大根香叶烯 D	Germacrene D	48.235	0.18±0.09 ^a	0.15±0.06 ^a	0.07±0.03 ^a	0.07±0.04 ^a	0.29±0.10 ^a	0.12±0.06 ^a	0.59±0.28 ^a	0.05±0.02 ^a	—
16	α -法呢烯	α -Farnesene	48.549	4.04±1.39 ^b	3.53±1.69 ^b	2.99±1.29 ^b	1.58±0.52 ^b	15.00±6.06 ^{ab}	7.04±1.61 ^b	21.37±3.54 ^a	1.37±0.46 ^b	微弱甜香
17	<i>l</i> -杜松烯	<i>l</i> -Cadinene	48.660	0.10±0.04 ^b	—	0.21±0.09 ^b	0.44±0.14 ^{ab}	0.81±0.41 ^{ab}	1.30±0.29 ^a	0.71±0.36 ^{ab}	0.23±0.07 ^b	—
18	<i>d</i> -杜松烯	<i>d</i> -Cadinene	48.975	0.61±0.26 ^b	1.22±0.57 ^b	0.90±0.39 ^b	1.64±0.52 ^{ab}	2.90±1.08 ^{ab}	4.45±1.21 ^a	1.73±0.22 ^{ab}	0.49±0.17 ^b	—
19	α -杜松烯	α -Cadinene	49.375	—	—	—	—	0.18±0.09 ^a	—	—	0.05±0.02 ^a	—
20	α -二氢莒蒲烯	α -Calacorene	49.532	—	0.09±0.05 ^a	—	—	0.11±0.06 ^a	0.16±0.08 ^a	0.20±0.10 ^a	0.06±0.03 ^a	—
21	α -衣兰油烯	α -Muuroolene	51.398	0.08±0.01 ^a	1.17±0.55 ^a	0.16±0.07 ^a	—	0.43±0.05 ^a	1.59±0.66 ^a	0.91±0.41 ^a	0.62±0.26 ^a	—
22	α -绿叶烯	α -Patchoulene	51.470	—	0.49±0.24 ^a	0.29±0.13 ^a	—	1.22±0.53 ^a	0.35±0.09 ^a	—	—	—
23	γ -衣兰油烯	γ -Muuroolene	51.972	0.04±0.02 ^b	—	0.40±0.17 ^b	0.41±0.21 ^b	0.77±0.27 ^{ab}	—	1.21±0.28 ^a	0.16±0.05 ^b	—

续表 3

序号	中文名	英文名	保留时间/min	A1	A2	A3	B1	B2	B3	C1	C2	香气属性
酯类化合物												
24	乙酸叶醇酯	Cis-3-Hexenyl acetate	15.577	1.81±0.91 ^a	—	0.09±0.05 ^a	4.67±1.89 ^a	4.70±1.68 ^a	2.01±1.01 ^a	—	0.21±0.11 ^a	青草香
25	(E)-3-己烯-1-醇乙酸酯	(E)-3-Hexenyl acetate	15.600	0.19±0.10 ^a	0.25±0.15 ^a	0.68±0.34 ^a	—	—	—	1.43±0.72 ^a	1.61±0.81 ^a	水果青香
26	苯甲酸甲酯	Methyl benzoate	20.477	5.70±2.16 ^b	4.66±1.66 ^b	7.33±3.17 ^b	24.32±9.76 ^{ab}	11.68±3.12 ^{ab}	14.19±2.40 ^{ab}	30.71±7.21 ^a	6.00±2.04 ^b	花香
27	甲酸芳樟酯	Linalyl formate	20.838	2.00±1.00 ^a	5.89±2.95 ^a	1.10±0.55 ^a	—	0.09±0.05 ^a	27.42±13.71 ^a	17.69±8.85 ^a	2.42±1.21 ^a	果味-玫瑰香
28	乙酸芳樟酯	Linalyl acetate	20.851	11.16±5.58 ^a	2.46±1.23 ^a	—	—	—	43.29±21.65 ^a	—	—	清香味甜香
29	乙酸辛酯	Benzyl acetate	25.286	76.93±30.30 ^a	38.56±14.21 ^a	41.43±18.06 ^a	183.34±73.11 ^a	138.18±43.13 ^a	150.05±19.79 ^a	156.68±28.86 ^a	31.56±11.00 ^a	茉莉花香
30	乙酸松油酯	Terpinyl acetate	26.709	—	0.23±0.12	—	—	—	—	—	—	木香花香
31	水杨酸甲酯	Methyl salicylate	26.984	5.24±2.06 ^b	5.65±2.12 ^b	10.53±4.57 ^{ab}	24.57±9.93 ^{ab}	13.12±3.33 ^{ab}	29.28±6.57 ^a	20.82±4.64 ^{ab}	8.66±2.87 ^{ab}	冬青叶香、薄荷香
32	乙酸苯乙酯	Phenethyl acetate	31.206	—	0.06±0.03 ^b	—	1.04±0.43 ^a	—	—	—	—	甜香
33	水杨酸乙酯	Ethyl 2-hydroxybenzoate	32.056	—	—	0.04±0.02 ^a	—	0.05±0.01 ^a	—	0.16±0.08 ^a	0.06±0.02 ^a	冬青味
34	顺式-3-己烯酸叶醇酯	Cis-3-hexenyl cis-3-hexenoate	42.845	0.27±0.10 ^{ab}	—	—	—	0.84±0.28 ^a	0.13±0.07 ^{ab}	—	—	青草香
35	邻氨基苯甲酸甲酯	Methyl anthranilate	44.037	22.65±9.49 ^b	18.78±8.14 ^b	11.89±5.02 ^b	64.31±22.87 ^{ab}	59.26±17.59 ^{ab}	33.08±9.78 ^b	121.62±30.77 ^a	13.16±4.87 ^b	橙花果香
36	2-(甲氨基)苯甲酸甲酯	Methyl 2-(methylamino)benzoate	44.054	0.32±0.12 ^a	0.42±0.19 ^a	0.34±0.15 ^a	2.55±0.96 ^a	0.65±0.17 ^a	0.76±0.23 ^a	1.88±0.58 ^a	0.51±0.18 ^a	橙花香
37	顺式-3-己烯醇苯甲酸酯	Cis-3-hexenyl benzoate	50.064	11.84±4.77 ^a	14.39±6.74 ^a	14.15±6.41 ^a	15.89±5.09 ^a	38.96±11.17 ^a	36.29±11.32 ^a	35.93±4.39 ^a	10.54±4.21 ^a	草木香
38	茉莉酸甲酯	Methyl jasmonate	52.077	—	—	—	0.83±0.20	—	—	—	—	茉莉花香
39	苯甲酸苄酯	Benzyl benzoate	54.337	0.12±0.06 ^a	0.25±0.12 ^a	0.16±0.07 ^a	0.14±0.04 ^a	0.38±0.12 ^a	0.41±0.11 ^a	0.22±0.01 ^a	0.10±0.04 ^a	杏仁香
40	棕榈酸甲酯	Methyl hexadecanoate	56.649	—	0.11±0.06 ^b	—	0.08±0.02 ^b	0.13±0.05 ^{ab}	—	0.24±0.06 ^a	0.06±0.03 ^b	—
醇类化合物												
41	反式-3-己烯-1-醇	Trans-3-hexen-1-ol	7.970	—	—	—	0.19±0.10 ^b	—	—	0.67±0.15 ^a	—	—
42	叶醇	Leaf alcohol	8.377	0.85±0.36 ^a	—	0.29±0.13 ^a	1.14±0.57 ^a	1.00±0.41 ^a	0.69±0.35 ^a	—	0.33±0.14 ^a	青草香
43	苯甲醇	Benzyl alcohol	16.997	3.35±1.37 ^b	3.67±1.38 ^b	3.76±1.60 ^b	12.58±4.49 ^b	9.59±2.73 ^b	9.25±0.53 ^{ab}	16.51±2.27 ^a	6.46±2.52 ^b	花香
44	氰化芳樟醇 I (顺式呋喃型)	Linalool I (Cis-Furan type)	20.100	—	—	—	0.25±0.10 ^a	0.03±0.02 ^b	—	—	0.02±0.01 ^b	—

续表 3

序号	中文名	英文名	保留时间/min	A1	A2	A3	B1	B2	B3	C1	C2	香气属性
45	芳樟醇	Linalool	20.930	—	—	12.50±6.25 ^a	35.05±14.14 ^a	30.39±9.53 ^a	—	22.08±11.04 ^a	14.03±7.02 ^a	佛手香
46	苯乙醇	Phenethyl alcohol	21.709	—	—	—	—	—	—	0.52±0.26	—	玫瑰香
47	α -松油醇	α -Terpineol	26.722	—	—	—	—	—	—	—	0.13±0.07	丁香香气
48	5-苄氧基-1-戊醇	5-(Benzyloxy)pentan-1-ol	49.768	—	—	0.04±0.02 ^b	—	0.50±0.16 ^a	—	0.35±0.18 ^{ab}	—	—
49	桉油烯醇	Spathulenol	50.469	—	—	—	0.54±0.20	—	—	—	—	—
50	T-杜松醇	T-Cadinol	52.262	—	0.78±0.37 ^a	0.26±0.11 ^a	0.58±0.25 ^a	0.27±0.14 ^a	0.58±0.29 ^a	1.05±0.53 ^a	0.37±0.13 ^a	—
51	叶绿醇	3,7,11,15-Tetramethyl-1- hexadecen-1-ol	55.372	—	0.98±0.49 ^a	—	—	0.10±0.04 ^a	0.22±0.11 ^a	—	—	—
酮类化合物												
52	甲基庚烯酮	6-Methyl-5-hepten-2-one	14.495	0.25±0.10 ^a	—	0.13±0.07 ^a	0.78±0.33 ^a	—	—	0.40±0.08 ^a	0.24±0.10 ^a	甜香、果香
53	β -紫罗兰酮	β -Irisone	47.749	0.16±0.06 ^b	0.07±0.03 ^b	0.02±0.01 ^b	1.02±0.34 ^a	0.16±0.04 ^b	0.37±0.19 ^{ab}	0.35±0.18 ^{ab}	0.18±0.05 ^b	紫罗兰香
含氮化合物												
54	吲哚	Indole	33.794	16.75±7.03 ^b	17.58±7.48 ^b	14.30±6.19 ^b	28.73±10.05 ^{ab}	45.05±14.65 ^{ab}	38.47±10.39 ^{ab}	77.28±20.12 ^a	10.39±3.89 ^b	橙子香、茉莉花香
55	赛洛丙胺	Xylopropamine	45.725	—	—	—	—	—	0.08±0.04 ^a	0.04±0.02 ^a	—	—
酸类化合物												
56	棕榈酸	Palmitic acid	57.148	—	0.16±0.08 ^a	—	0.02±0.01 ^a	—	—	—	—	—
醛类化合物												
57	苯甲醛	Benzaldehyde	13.423	0.13±0.02 ^a	0.11±0.06 ^a	—	0.29±0.15 ^a	0.39±0.20 ^a	1.56±0.78 ^a	2.28±1.34 ^a	0.27±0.09 ^a	杏仁香
酚类化合物												
58	丁香酚	Eugenol	39.584	—	—	0.15±0.06 ^a	0.16±0.08 ^a	—	—	1.18±0.59 ^a	0.16±0.04 ^a	丁香辛香气
挥发性化合物总量												
				165.32±65.26 ^{ab}	123.00±48.45 ^b	125.07±54.14 ^b	407.59±155.92 ^{ab}	379.75±117.25 ^{ab}	405.29±68.39 ^{ab}	543.25±102.92 ^a	111.12±39.87 ^b	—

注：表中不同小写字母表示差异性显著，不同字母表示差异显著；“—”表示未检测出。

2.1.4 碳氢化合物

碳氢化合物对茶叶风味有较大贡献的一般是不饱和碳氢化合物, 华南茶区样品中含量平均值最高 (18.13 $\mu\text{g/g}$), 分别较江南、西南茶区高 15.55%、64.31%。在本实验中检测出的主要的不饱和碳氢化合物是具微弱甜香的 α -法呢烯, 在窈制过程中不断增加^[26]。华南茶区茶样中 α -法呢烯含量平均值最高 (11.37 $\mu\text{g/g}$), 分别较江南、西南茶区高 30.78%、69.04%。Kawakami 等^[27]认为 α -法呢烯是以类胡萝卜素为前体的香气化合物, 其含量的大量增加可能是由于日光萎凋过程中的光氧化促进了类胡萝卜素的水解。陈梅春等^[28]认为 α -法呢烯主要存在于玉兰花中, 由此推测本实验中 α -法呢烯含量差异可能与茉莉花茶加工过程中是否采用玉兰花打底工艺有关。

2.1.5 含氮化合物

含氮化合物吲哚在茉莉花茶中主要表现为坚果香、花香和焦香, 并且其含量与茉莉花茶品质呈正相关^[29], 本实验结果显示吲哚含量平均值最高的是华南茶区样品 (43.84 $\mu\text{g/g}$), 分别较江南、西南茶区高 14.64%、63.02%。

2.2 茉莉花茶香气评价指数(JTF)对比

Lin 等^[30]认为茉莉花茶香气品质可用茉莉花茶香气评价指数 (JTF 指数) 来评价, JTF 指数为 α -法呢烯、顺式-3-己烯醇苯甲酸酯、吲哚、邻氨基苯甲酸甲酯总含量与芳樟醇含量的比值, 且该数值与茉莉花茶的等级呈正相关。三个茶区茉莉花茶香气评价指数结果见表 4, 各产区茉莉花茶 JTF 指数大小顺序为西南茶区 > 华南茶区 > 江南茶区。数据表明西南茶区茉莉花茶样品等级较江南、华南茶区高。

表 4 各茶区茉莉花茶香气评价指数

Table 4 Jasmine tea flavor index in each tea regions

指标	西南茶区 (A)	江南茶区 (B)	华南茶区 (C)
JTF 指数	13.97	6.29	12.15

2.3 香气聚类分析

采用 Ward 法对茉莉花茶样品进行香气聚类分析, 分析结果见图 2 所示, 8 个样品有 14 个共同香气成分。在距离为 5 的位置上这 14 个共有成分被分成了 3 个大组, 第一组 10 个香气成分: (-)- α -萜澄茄油烯、苯甲酸苄酯、大根香叶烯 D、 β -紫罗兰酮、2-(甲氨基)苯甲酸甲酯、 Δ -杜松烯、 α -法呢烯、苯甲醇、苯甲酸甲酯、水杨酸甲酯,

整体呈现花香, 在江南、华南茶区样品中相对含量较高。第二组 3 个香气成分: 顺式-3-己烯醇苯甲酸酯、吲哚、邻氨基苯甲酸甲酯, 整体呈现茉莉花香和草木香, 在华南茶区样品中相对含量最高。第三组 1 个香气成分: 乙酸苄酯, 以茉莉花香为主, 在江南茶区样品中相对含量最高。

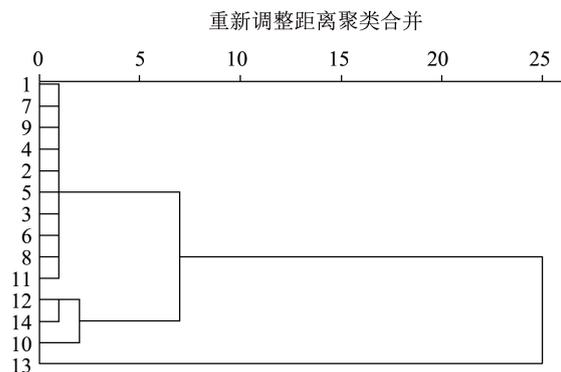


图 2 茉莉花茶样品香气聚类图

Fig.2 Cluster analysis of jasmine tea samples

注: 1 号为 (-)- α -萜澄茄油烯; 2 号为 2-(甲氨基)苯甲酸甲酯; 3 号为 α -法呢烯; 4 号为 β -紫罗兰酮; 5 号为 Δ -杜松烯; 6 号为苯甲醇; 7 号为苯甲酸苄酯; 8 号为苯甲酸甲酯; 9 号为大根香叶烯 D; 10 号为邻氨基苯甲酸甲酯; 11 号为水杨酸甲酯; 12 号为顺式-3-己烯醇苯甲酸酯; 13 号为乙酸苄酯; 14 号为吲哚。

2.4 不同产区茉莉花茶的电子鼻数据分析

2.4.1 线性判别分析

对茶汤的电子鼻分析结果由图 3a 所示, 第一主成分贡献率是 50.46%, 第二主成分贡献率是 46.03%, 总贡献率为 96.49%, 充分证明电子鼻能反映样品茶汤的整体信息。当样品间均有明显距离时, 说明电子鼻可对不同样品进行区分, 福建茉莉花茶 (C1) 与安徽茉莉花茶 (B1) 坐标之间有重叠, 说明其香气物质信息较为接近, 其他样品之间坐标距离较远, 这与 GC-MS 检测结果相印证, 说明该数据基本上能够代表所选茉莉花茶样品茶汤的香气信息。

电子鼻对茉莉花茶叶底香气分析由图 3b 所示, 第一主成分的贡献率是 65.70%, 第二主成分的贡献率是 27.14%, 总贡献率为 92.84%, 充分证明电子鼻技术能反应样品叶底的整体信息。所有茉莉花样品间坐标没有重叠部分, 说明样品可以被电子鼻显著区分。综上所述, 运用线性判别分析能有效对各茉莉花茶样品的茶汤和叶底香气进行区分。

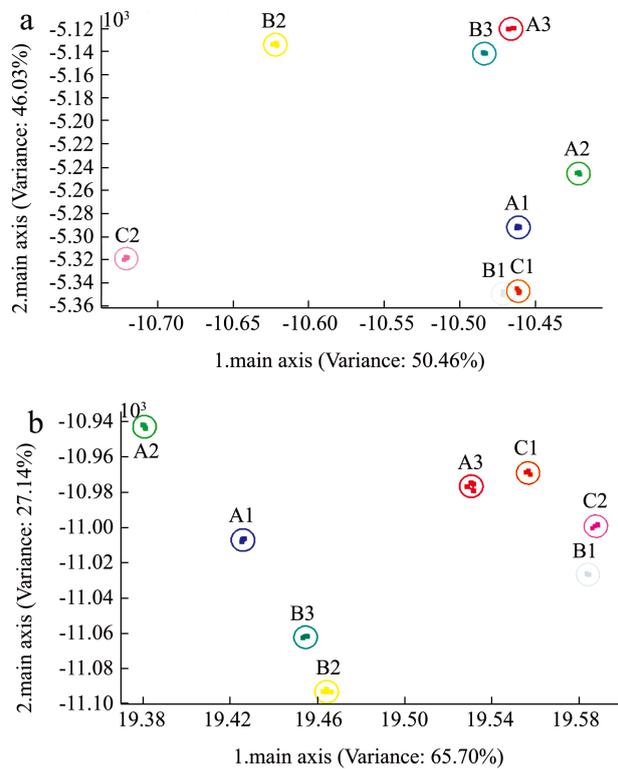


图3 不同茶区茉莉花茶茶汤及叶底的LDA分析

Fig.3 LDA analysis of tea broth and leaf base of jasmine tea from different tea regions

注：(a) 茶汤；(b) 叶底。下图同。

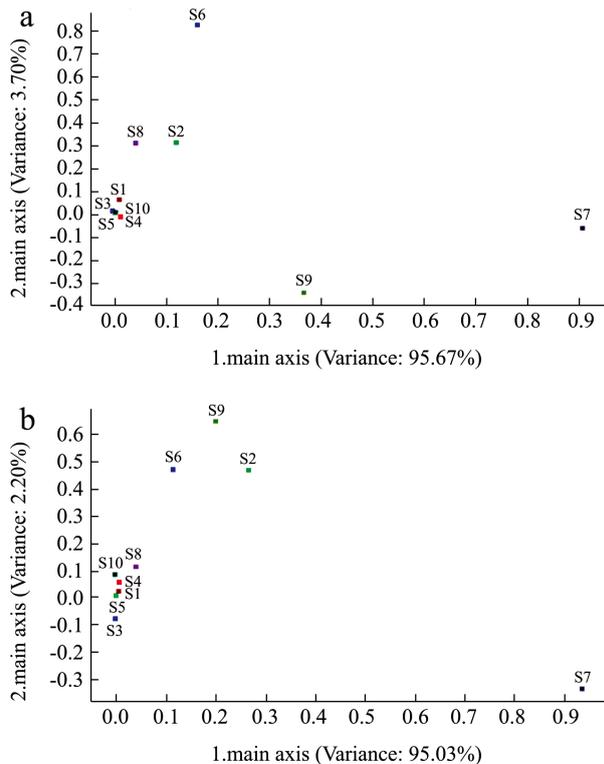


图4 不同茶区茉莉花茶茶样茶汤及叶底的LA分析

Fig.4 LA analysis of tea broth and leaf base of jasmine tea from different tea regions

2.4.2 负荷加载分析

对茉莉花茶茶汤和叶底的LA分析分别如图4所示，茶汤样品中7号传感器（对硫化物灵敏）的位点距离x=0最远，说明7号传感器对第一主成分的贡献率最大；6号传感器（对甲基类灵敏）的位点距离y=0最远，说明其对第二主成分的贡献率最大；9号传感器（对芳香成分和有机硫化物灵敏）的位点位于x轴和y轴的中间位置，说明其对第一和第二具有相同的贡献程度。同理，叶底样品中7号传感器对第一主成分的贡献率最大；9号在传感器对第二主成分的贡献率最大。许青莲等^[22]运用电子鼻技术对不同产地苦荞茶进行香气鉴别，认为是因为在茶叶冲泡过程中部分水溶性物质被溶出，从而引起了茶汤与叶底挥发性物质产生差异。综上所述，茉莉花茶样品茶汤和叶底的香气成分整体上具有相似性，样品香气物质的变化可能与硫化物、甲烷、芳香化合物和有机硫化物类等挥发性成分有关。

3 结论

本研究对我国三大茶区的8种茉莉花茶香气成分进行了GC-MS分析与电子鼻鉴别，结果表明三大产区茉莉花茶样品的香气种类差异不大，但特征香气物质含量存在显著差异。江南和华南茶区的茉莉花茶特征性香气成分含量相对西南茶区较高，通过香气聚类分析表明，花香和草木香类香气成分在江南、华南茶区中相对含量较高。西南茶区茉莉花茶虽特征性香气成分含量较低，但JTF指数相对其他茶区较高，说明茉莉花茶香气不是单一物质在起作用，而是很多香气物质的综合作用的结果。通过电子鼻技术能够有效区别各茉莉花茶样品的茶汤和叶底香气进行区分。

针对不同产区茉莉花茶的香气品质差异的研究，后续应结合气相嗅辨仪（Gas Chromatography-Olfactometry, GC-O）和气味活度值（Odour Intensity Value, OAV）进行深入开展茉莉花茶香气分析。

参考文献

- [1] 苏咏农.茉莉花文化[J].农家致富, 2019,1:64-64.
- [2] SHEN J X, RANA M M, LIU G F, et al. Differential contribution of jasmine floral volatiles to the aroma of scented green tea [J]. Journal of Food Quality, 2017, 2017:1-10.
- [3] 陈梅春,张海峰,朱育菁,等.茉莉花茶窈制过程香气形成机制的研究[J].食品安全质量检测学报, 2016, 7(4):1546-1553.

- [4] YAMANISHI T. Aroma of Chinese Scented Green Tea. In *Frontiers of Flavor. Proceedings of 5th International Flavor Conference*, [C]// Elsevier Science Publisher: Amsterdam, 1987: 181-190.
- [5] 安会敏,欧行畅,熊一帆,等.茉莉花茶特征香气成分研究[J].茶叶科学,2020,40(2):225-237.
- [6] 张俊杰,傅天龙,傅天甫,等.福州茉莉花茶窈制次数与香气成分的关联分析[J].茶叶科学,2021,41(1):113-121.
- [7] 陆安霞,周心如,叶玉龙,等.蜡梅花离体摊放过程中香气感官评价和挥发性物质分析[J].园艺学报,2020,47(1):73-84.
- [8] 施莉婷,江和源,张建勇,等.茶叶香气成分及其检测技术研究进展[J].食品工业科技,2018,39(12):5.
- [9] BEHERA B, JOSHI R, VISHNU G K A, et al. Electronic-nose: A non-invasive technology for breath analysis of diabetes and lung cancer patients [J]. *Journal of Breath Research*, 2019, 13(2): 024001.
- [10] LU X, WANG J, LU G, et al. Quality level identification of west lake longjing green tea using electronic nose [J]. *Sensors and Actuators B Chemical*, 2019, 301: 127056.
- [11] YANG X M, LIU Y L, MU L H, et al. Discriminant research for identifying aromas of non-fermented Pu-Erh tea from different storage years using an electronic nose [J]. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2018, 42(10): e13721.
- [12] SHARMILAN T, PREMARATHNE I, WANNIARACHCHI I L, et al. Electronic nose technologies in monitoring black tea manufacturing process [J]. *Journal of Sensors*, 2020, 9: 3073104.
- [13] 江昕田,郭雅玲,赖凌凌,等.电子鼻技术在不同厂家特种茉莉花茶香气判别中的应用研究[J].食品安全质量检测学报,2017,8(12):4760-4765.
- [14] HANSEN T, PETERSEN M A, BYRNE D V. Sensory based quality control utilising an electronic nose and GC-MS analyses to predict end-product quality from raw materials [J]. *Meat Science*, 2005, 69(4): 621-634.
- [15] 薛大为,杨春兰,孔慧芳,等.电子鼻检测黄山毛峰茶贮藏时间方法研究[J].现代食品科技,2016,32(11):328-333.
- [16] 安会敏,欧行畅,熊一帆,等.茉莉花茶挥发性成分在窈制过程中的变化研究[J].茶叶通讯,2020,47(1):67-74.
- [17] 张娜,荆婷婷,王婧铭,等.茶树中酯类香气合成基因的筛选及功能分析[C].长三角植物科学研讨会暨青年学术报告会,2018.
- [18] WANG C, ZHANG C, KONG Y, et al. A comparative study of volatile components in Dianhong teas from fresh leaves of four tea cultivars by using chromatography-mass spectrometry, multivariate data analysis, and descriptive sensory analysis [J]. *Food Research International*, 2017, 100(1): 267-275.
- [19] 王淑燕,赵峰,饶耿慧,等.基于电子鼻和ATD-GC-MS技术分析茉莉花茶香气成分的产地差异[J].食品工业科技,2021,42(15):234-239.
- [20] EDRIS A E, CHIZZOLA R, FRANZ C. Isolation and characterization of the volatile aroma compounds from the concrete headspace and the absolute of *Jasminum sambac* (L.) Ait. (*Oleaceae*) flowers grown in egypt [J]. *European Food Research & Technology*, 2008, 226(3): 621-626.
- [21] 马松艳,于冬梅,赵东江,等.乙酸苜酯的合成研究进展[J].应用化工,2009,38(10):1513-1516.
- [22] 许青莲,郭训练,蒋子敬,等.HS-SPME-GC-MS结合智鼻对不同产地苦莽茶香气成分分析与鉴别[J].食品与发酵工业,2017,43(8):233-239.
- [23] YANG Y, ZHANG M, YIN H, et al. Rapid profiling of volatile compounds in green teas using micro-chamber/thermal extractor combined with thermal desorption coupled to gas chromatography-mass spectrometry followed by multivariate statistical analysis [J]. *LWT*, 2018, 96:42-50.
- [24] 汪蓓,舒娜,陆安霞,等.不同杀青温度对绿茶香型形成的影响[J].食品与发酵工业,2020,46(4):197-203.
- [25] SHAO S X, WANG S Y, WANG L, et al. Analysis of aroma components of different cultivars of white peony tea based on ATD-GC-MS [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2022, 43(1): 261-268.
- [26] ZHOU H C, HOU Z W, WANG D X, et al. Large scale preparation, stress analysis, and storage of headspace volatile condensates from *Jasminum sambac* flowers [J]. *Food Chemistry*, 2019, 286(15): 170-178.
- [27] KAWAKAMI M, KOBAYASHI A. Carotenoid-derived aroma compounds in Tea [J]. *ACS National Meeting Book of Abstracts*, 2002, 802: 145-159.
- [28] 陈梅春,林增钦,郑梅霞,等.茉莉花茶香气品质评价指标的构建与研究[J].茶叶通讯,2021,48(1):90-97.
- [29] WANG S Y, ZHAO F, WU W X, et al. Comparison of volatiles in different jasmine tea grade samples using electronic nose and automatic thermal desorption-gas chromatography-mass spectrometry followed by multivariate statistical analysis [J]. *Molecules*, 2020, 25(2): 2-16.
- [30] LIN J, CHEN Y, ZHANG P, et al. A novel quality evaluation index and strategies to identify scenting quality of jasmine tea based on headspace volatiles analysis [J]. *Food Sci Biotec*, 2013, 22: 331-340.