

五个不同产地绞股蓝茶挥发物及香气成分研究

王忠泽^{1,2}, 杨宇涵^{1,2}, 张红霞¹, 杜芝芝^{1*}

¹中国科学院昆明植物研究所资源植物与生物技术重点实验室 云南省野生资源植物研发重点实验室, 昆明 650223;

²中国科学院大学, 北京 100049

摘要:为了解不同产地的绞股蓝茶的挥发性成分的差异, 探明绞股蓝茶的香气成分, 本研究采用溶剂辅助风味蒸发(SAFE)结合气相色谱-质谱联用技术(GC-MS), 对湖南张家界、陕西平利、广西金秀、安徽亳州、云南玉溪五个不同产地的绞股蓝茶的挥发性成分进行提取和分析, 利用峰面积归一化法计算各个成分的相对百分含量。五个不同产地的绞股蓝茶共鉴定出98个挥发性成分, 包括醛类、酸类、酚类、酯类、腈类、杂环化合物、酮类、醇类和烃类及其衍生物。从广西、安徽、湖南、陕西和云南产的绞股蓝茶中分别鉴定出48、49、50、51、50个挥发性化合物。五个样品中, 检测出的共有成分为15个, 其中二氢猕猴桃内酯和棕榈酸乙酯不仅为其共有成分, 且相对含量均较高, 其它主要成分还包括苯甲醛、正辛醛、(E,E)-2,4-庚二烯醛、苯甲醇、苯乙醛、罗勒烯、香兰素、月桂酸乙酯、2,4-二羟基-2,6,6-三甲基环己基乙酸γ-内酯、植酮、邻苯二甲酸二异丁酯、邻苯二甲酸二丁酯、十八酸乙酯等。五个不同产地绞股蓝茶主要香气成分都包括二氢猕猴桃内酯, 但其它关键成分存在差别, 因此不同来源的绞股蓝茶风味不尽相同。通过查阅文献对绞股蓝茶挥发性成分的香气特征进行了系统梳理, 其所含挥发物的香气特征包括“水果”、“花”、“青叶”、“木香”和“脂肪”气味, 这为绞股蓝茶的风味研究及产品开发提供了理论依据。

关键词:绞股蓝茶; 挥发性成分; 溶剂辅助风味蒸发法; 质谱联用

中图分类号: Q946.8

文献标识码: A

文章编号: 1001-6880(2020)10-1717-13

DOI: 10.16333/j.1001-6880.2020.10.013

Volatile and aroma components of *Gynostemma pentaphyllum* (Thunb.) Makino tea from five different origins

WANG Zhong-ze^{1,2}, YANG Yu-han^{1,2}, ZHANG Hong-xia¹, DU Zhi-zhi^{1*}

¹Key Laboratory of Economic Plants and Biotechnology, Yunnan Key Laboratory for Wild PlantResources, Kunming Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Kunming 650201, China;

²Chinese Academy of Sciences University, Beijing 100049, China

Abstract: To investigate the differences in the volatile components and explore the aroma components of *Gynostemma pentaphyllum* (Thunb.) Makino tea from different places of origins. Solvent-assisted flavor evaporation (SAFE) combined with gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) were used to extract and analyze the volatile components of *G. pentaphyllum* in this study. The peak area normalization method was used to calculate the relative percentage of each component. A total of 98 compounds were identified from five different origins of *G. pentaphyllum* tea, including aldehydes, acids, phenols, esters, nitriles, heterocyclic compounds, ketones, alcohols, hydrocarbons and their derivatives. 48, 49, 50, 51 and 50 volatile compounds were identified in *G. pentaphyllum* tea from Guangxi, Anhui, Hunan, Shanxi and Yunnan Province of China. Fifteen common components were identified from the five samples, among which dihydroactinidiolide and ethyl hexadecanoate are not only the common components, but also have high relative contents. Other main components include benzaldehyde, octanal, (E,E)-2,4-heptadienal, benzyl alcohol, benzeneacetaldehyde, ocimene, vanillin, ethyl dodecanoate, 2,4-dihydroxy-2,6,6-trimethylcyclohex-ylideneacetic acid γ-lactone, hexahydrofarnesyl acetone, isobutyl phthalate, dibutyl phthalate and ethyl stearate. The key aroma components of *G. pentaphyllum* tea from five different origins all include dihydroactinidiolide, but there are certain

differences in other key components, so the flavor of *G. pentaphyllum* tea from different sources is not the same. The aroma characteristics of the volatile components of *G. pentaphyllum* tea were systematically sorted out by referring to related literatures and aroma characteristics of the volatiles contained in them, which included "fruity", "floral", "green leaf" and "fat" notes. This study provides a theoretical basis for flavor research and product development of *G. pentaphyllum* tea.

Key words: *Gynostemma pentaphyllum* tea; volatile components; SAFE; GC-MS

绞股蓝 (*Gynostemma pentaphyllum* (Thunb.) Makino), 属于葫芦科 (Cucurbitaceae) 绞股蓝属 (*Gynostemma*), 是一种多年生草质攀援植物, 广泛分布于中国陕西南部和长江以南各省, 在朝鲜、日本以及一些东南亚国家也有分布^[1]。在中国, 绞股蓝已经具有几百年的食用历史, 作为蔬菜始记载于明朝(公元 1368 ~ 1644 年)出版的《救荒本草》一书中^[2]。此外, 长期以来绞股蓝还作为一种草药被用于中国民间医药中, 具有清热解毒、止咳祛痰的功效。现代大量研究表明, 绞股蓝具有抗氧化、抗肿瘤、降血糖、免疫调节和抗动脉粥样硬化^[3]等多种药理活性。绞股蓝作为一种药食同源植物, 也常被制作成绞股蓝茶冲泡饮用。不同的挥发性成分以一定的比例和含量组成混合物, 进而呈现出不同的茶风味。香气是茶的灵魂, 关乎茶品质的优劣^[4]。关于绞股蓝茶挥发性成分的研究已有相关文献报道, 但使用溶剂辅助风味蒸发(SAFE)方法对其挥发性成分进行提取却未见报道。目前, SAFE 在茶挥发性成分萃取中受到越来越多的重视, 低真空度及低温冷凝温度控制能够获得自然、真实的茶汤香气, 且蒸馏过程中可除去不挥发性物质^[4]。

为了了解不同地区产绞股蓝茶在挥发性成分方面是否存在差异, 本研究采用 SAFE 对 5 个不同产地绞股蓝茶的挥发性成分进行提取, 利用气相色谱-质谱联用技术(GC-MS)对其挥发性成分进行分析, 通过 NIST.17 质谱库检索并运用峰面积归一法确定各个组分的相对含量, 结合文献报道对绞股蓝茶挥发性成分的香气特征进行了详细梳理和总结, 从而为进一步研究绞股蓝茶风味及资源的开发利用提供了理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

湖南张家界、安徽亳州、广西金秀三个样品均为市售绞股蓝茶, 分别购自湖南张家界爱尚园茶业有限公司、安徽亳州市茗芳百花茶叶商贸有限公司和广西金秀圣塘山天然保健品有限公司; 陕西平利样品购于四川荷花池中药材市场, 产地陕西平利; 云南

玉溪样品采自云南玉溪, 样品经中国科学院昆明植物研究所陈文允副研究员鉴定, 收割后切成 3~5 cm 小段洗净晾干。

表 1 样品来源及名称

Table 1 Sample source and name

序号 No.	来源 Origin	名称 Name
1	广西金秀	GX
2	安徽亳州	AH
3	湖南张家界	HN
4	陕西平利	SX
5	云南玉溪	YN

1.2 试剂与仪器

二氯甲烷(色谱纯, 美国 Meridian Medical Technologies); C7~C30 的正构烷烃(色谱纯, 美国 SUPELCO 公司); 溶剂辅助风味蒸发装置(英国 Edwards 公司真空泵); 7890A-5795C 型气相色谱-质谱联用仪(美国安捷伦公司); HP-5 色谱柱(50.0 m × 0.32 mm × 0.5 μm, 美国安捷伦公司); DB-wax 色谱柱(30.0 m × 0.25 mm × 0.25 μm, 美国安捷伦公司)。

1.3 提取方法

准确称取绞股蓝茶 25 g, 加入沸腾的蒸馏水 500 mL 密闭浸泡 5 min 后过滤, 再用冰水迅速冷却滤液。随后向滤液中加入 150 mL 二氯甲烷, 超声 30 min, 再以 5 000 rpm 的转速离心 15 min, 将上清液部分倒入分液漏斗进行分液, 收集二氯甲烷相, 以上步骤重复 3 次。合并二氯甲烷相, 在 35 °C 恒温水浴条件下用旋转蒸发仪浓缩至 200 mL 左右, 加入过量无水硫酸钠, 过滤得到萃取液。将该萃取液置于溶剂辅助风味蒸发装置(SAFE)的滴液漏斗中, 并在冷冻中加入液氮, 将循环水和水浴的水温分别设为 40 °C 和 45 °C, 当系统真空度达到 1×10^{-4} MPa 时, 缓慢打开滴液漏斗活塞, 萃取过程中保持样品匀速滴下, 以制取挥发性物质萃取液。随后在 35 °C 恒温水浴条件下使用旋转蒸发仪将挥发性物质萃取液浓

缩至 1 mL,于 -4 ℃保存,各个样品均无重复。

1.4 GC-MS 分析条件

质谱条件:离子源:EI 源,离子源温度 230 ℃,四极杆温度 150 ℃,电子能量:70 eV,质核比扫描范围:40~500 m/z 。

HP-5 色谱柱,程序升温条件为初始温度 50 ℃,保持 5 min,以 3 ℃/min 升至 190 ℃,保持 5 min,再以 10 ℃/min 升至 250 ℃,保持 5 min,分析检测时间共 67.667 min;进样量 1 μ L,不分流,载气为高纯 He(99.99%);载气流量 1.2 mL/min;溶剂延迟 10 min。

DB-wax 色谱柱,程序升温条件为初始温度 50 ℃,保持 5 min,以 5 ℃/min 升至 100 ℃,保持 0 min,以 2 ℃/min 升至 220 ℃,保持 0 min,再以 5 ℃/min 升至 250 ℃,保持 5 min,分析检测时间共 86 min;进样量 1 μ L,不分流,载气为高纯 He(99.99%);载气流量 1 mL/min;溶剂延迟 5 min。

1.5 挥发性成分鉴定

采用质谱比对(MS)和保留指数比对(RI)相结合的方法对所分离的挥发性化合物进行鉴定。将 GC-MS 分析所得到的质谱谱图与 NIST14 质谱库进行比对;通过 C7~C30 正构烷烃 GC-MS 数据计

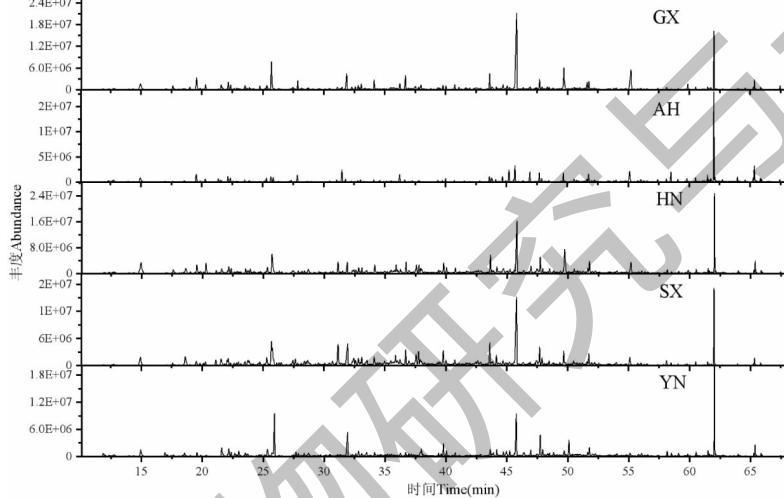


图 1 五个不同产地绞股蓝茶的挥发性成分总离子流图(非极性色谱柱 HP-5)

Fig. 1 Total ion current chromatogram of volatile components of five different origins of *G. pentaphyllum* tea (non-polar chromatography column HP-5)

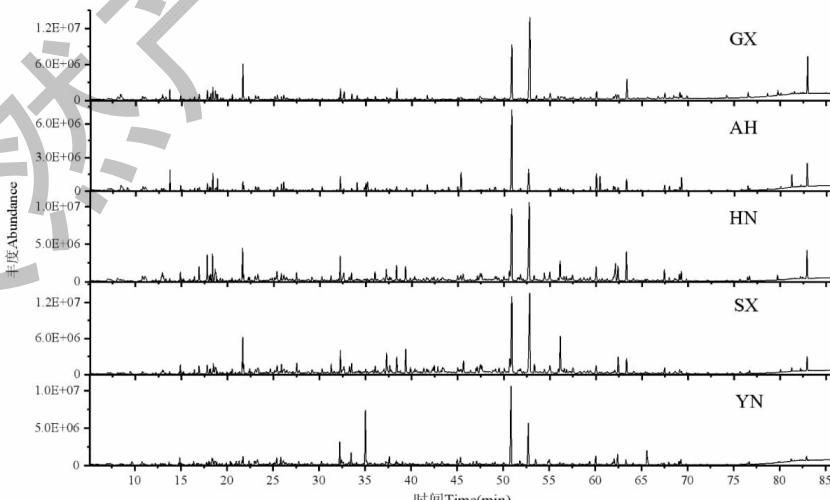


图 2 五个不同产地绞股蓝茶的挥发性成分总离子流图(极性色谱柱 DB-wax)

Fig. 2 Total ion current chromatogram of volatile components of five different origins of *G. pentaphyllum* tea (polar chromatography column DB-wax)

算样品总离子流图中所积分的色谱峰的保留指数，与 NIST Chemistry WebBook (<http://webbook.nist.gov/chemistry/>) 在线数据库进行比对。

2 结果与分析

2.1 五个不同产地绞股蓝挥发性成分分析鉴定

采用 SAFE 提取结合 GC-MS 分析对绞股蓝茶中的挥发性化合物进行了鉴定, 得到五个不同产地绞股蓝茶样品的挥发性成分总离子流图(检测用非

表2 五个不同产地绞股蓝茶挥发性成分的保留指数和相对百分含量

Table 2 Retention index and relative percentage of volatile components in *G. pentaphyllum* tea from five different regions

极性色谱柱 HP-5 和极性色谱柱 DB-wax) 见图 1 和图 2,为了鉴定结果的可靠性,只保留了两种柱子同时检测到的且与数据库匹配度高的化合物。

五个绞股蓝茶样品总共鉴定到98个化合物,如表2所示,这些化合物分别属于9个化学类别,包括醛类、酸类、酚类、酯类、腈类、杂环化合物、酮类、醇类和烃类及其衍生物。

续表2 (Continued Tab. 2)

化合物 Compound	保留指数 Retention index (RI)										相对百分含量 Relative percentage(%)					
	GX					AH					HN		SX		YN	
	HP-5	NIST	DB-wax	NIST	HP-5	DB-wax	HP-5	DB-wax	HP-5	DB-wax	HP-5	DB-wax	HP-5	DB-wax	HP-5	DB-wax
2,3-二氢苯并呋喃 2, 3-dihydrobenzofuran	1.214	1.219	2.363	-	0.186	0.377	0.450	0.478	1.598	1.669	2.390	2.991	-	-	-	-
B-环柠檬醛 β -Cyclocitral	1.222	1.223	1.601	1.598	0.140	0.404	-	-	0.335	0.300	-	-	-	-	-	-
甲基乙烯基马来酰亚胺 Methylvinylmaleimide	1.254	1.261	2.373	-	0.307	0.414	0.422	0.288	0.653	0.400	-	-	0.461	0.288	-	-
甲基乙烯基马来酰亚胺 4-Methoxybenzyl alcohol	1.281	1.279	2.248	2.268	0.072	0.095	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
十二甲基环六硅氧烷 Dodecamethylcyclohexasiloxane	1.321	-	1.345	-	0.386	0.792	1.621	1.525	-	-	0.579	0.137	0.633	0.238	-	-
8-羟基芳樟醇 8-Hydroxylinalool	1.359	1.367	2.299	2.251	0.399	0.612	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
癸酸乙酯 Ethyl caprate	1.390	1.392	1.626	1.633	0.108	0.791	0.392	0.823	0.348	0.851	-	-	0.329	1.211	-	-
香兰素 Vanillin	1.399	1.400	2.518	2.520	0.255	0.655	0.315	0.694	1.230	1.263	1.395	1.288	1.472	1.438	-	-
十二醛 Dodecanal	1.404	1.405	1.692	1.700	0.207	0.822	0.625	1.330	-	-	-	-	0.701	1.027	-	-
3-羟基- β -环柠檬醛 3-Hydroxy- β -cyclocitral	1.421	1.431	2.335	-	0.282	1.182	0.279	0.319	0.609	0.978	0.608	1.132	-	-	-	-
α -紫罗兰酮 α -Ionone	1.429	1.427	1.825	1.863	0.125	0.252	-	-	0.192	0.184	-	-	-	-	-	-
香豆素 Coumarin	1.442	1.432	2.386	2.451	0.140	0.165	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4-[2,2,6-三甲基-7-氧杂二环[4.1.0]庚-1-基]-3-丁烯-2-酮 4-(2,2,6-trimethyl-7-oxabicyclo[4.1.0]heptan-1-yl)but-3-en-2-one	1.488	1.488	1.960	-	0.791	1.432	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2,6-二叔丁基对甲酚 2,6-Di-tert-butyl-4-methylphenol	1.514	1.514	1.891	1.902	0.368	0.297	1.165	1.254	-	-	0.558	0.214	0.575	0.539	-	-
二氢猕猴桃内酯 Di-hydroactinidiolide	1.542	1.548	2.283	2.291	6.421	15.124	3.420	3.587	7.769	7.467	7.624	8.416	5.804	6.118	-	-
月桂酸乙酯 Ethyl dodecanoate	1.588	1.591	1.828	1.835	0.503	1.196	1.795	1.672	1.671	1.593	1.323	1.368	2.577	2.460	-	-
正十六烷 Hexadecane	1.593	1.600	1.585	-	0.187	3.776	0.645	0.554	0.495	0.376	-	-	0.116	0.823	-	-
(6S)-2-甲基-6-(4-甲基苯基)-2-庚烯-4-酮 (6S)-2-Methyl-6-(4-methylphenyl)-2-hepten-4-one	1.667	1.665	2.218	-	0.092	0.298	0.328	0.390	-	-	-	-	0.299	0.466	-	-
2,4-二羟基-2,6,6-三甲基环己基乙酸 γ -内酯 2,4-Dihydroxy-2,6,6-trimethylcyclohexylideneacetic acid γ -lactone	1.772	1.784	-	-	1.913	4.359	3.055	3.433	1.838	1.835	0.964	1.021	0.575	0.823	-	-
十八甲基环九硅氧烷 Octadecamethylcyclononasiloxan	1.827	-	1.867	-	0.087	0.491	0.577	0.262	-	-	0.186	0.202	0.183	0.331	-	-

续表2 (Continued Tab. 2)

化合物 Compound	保留指数 Retention index (RI)										相对百分含量 Relative percentage (%)					
	GX					AH					HN		SX		YN	
	HP-5	NIST	DB-wax	NIST	HP-5	DB-wax	HP-5	DB-wax	HP-5	DB-wax	HP-5	DB-wax	HP-5	DB-wax	HP-5	DB-wax
植酮 Hexahydrofarnesyl acetone	1 847	1 848	2 104	—	0.097	0.286	0.616	0.539	0.376	0.495	0.397	0.658	0.651	0.733	—	—
邻苯二甲酸二异丁酯 Isobutyl phthalate	1 874	1 873	2 511	2 526	0.054	0.952	0.531	0.583	0.233	1.893	0.195	0.361	0.375	0.855	—	—
正十九烷 Nonadecane	1 896	1 900	2 082	—	0.245	0.074	0.523	0.448	—	—	—	—	—	0.247	0.239	—
邻苯二甲酸二丁酯 Dibutyl phthalate	1 967	1 970	2 665	2 578	0.107	0.195	0.986	0.701	0.378	0.295	0.209	0.156	0.489	0.403	—	—
棕榈酸乙酯 Ethyl hexadecanoate	1 991	1 990	2 237	2 241	1.948	7.785	12.471	12.961	5.652	7.449	3.447	6.836	7.096	11.601	—	—
亚油酸乙酯 Ethyl linoleate	2 158	2 159	2 505	2 510	0.087	0.297	0.566	0.700	0.243	0.305	—	—	—	—	—	—
反油酸乙酯 Ethyl elaidate	2 163	2 174	2 458	—	0.381	1.048	2.489	2.358	1.003	1.239	0.391	0.816	—	—	—	—
十八酸乙酯 Ethyl stearate	2 188	2 199	2 442	2 455	0.080	0.405	0.577	0.656	0.230	0.461	0.137	0.479	0.277	0.659	—	—
乙酰柠檬酸三丁酯 Tributyl acetylcitrate	—	—	2 909	—	0.167	0.659	—	—	—	—	0.052	0.103	—	—	—	—
苯乙醇 Phenylethyl Alcohol	1 111	1 113	1 887	1 883	—	—	—	1.060	1.055	3.772	0.209	1.833	0.389	5.574	6.387	—
萘 Naphthalene	1 185	1 182	1 707	1 740	—	—	0.178	0.385	0.147	0.178	—	—	—	—	—	—
癸醛 Decanal	1 201	1 202	1 485	1 483	—	—	0.258	0.459	—	—	—	—	—	—	—	—
5-羟甲基糠醛 5-Hydroxymethylfurfural	1 222	1 233	2 467	2 485	—	—	2.559	2.264	—	—	—	—	—	—	—	—
对羟基苯甲醛 p-Hydroxybenzaldehyde	1 330	—	2 914	—	—	—	0.557	0.306	—	—	0.560	0.229	—	—	—	—
十四烷 Tetradecane	1 394	1 400	1 392	—	—	—	0.117	0.147	—	—	—	—	—	—	—	—
正十五烷 Pentadecane	1 492	1 500	1 489	—	—	—	1.280	0.302	—	—	—	—	—	0.496	0.268	—
二苯甲酮 Benzophenone	1 634	1 621	1 634	—	—	—	0.248	0.353	—	—	—	—	—	—	—	—
3-羟基-5,6-环氧-β-紫罗兰酮 3-Hydroxy-5,6-epoxy-β-ionone	1 688	1 690	2 693	2 739	—	—	0.608	0.546	0.550	0.583	0.373	0.343	0.509	0.482	—	—
十八烷 Octadecane	1 790	1 800	1 784	—	—	—	0.543	0.559	—	—	0.274	0.423	0.480	0.522	—	—
咖啡因 Caffeine	1 857	1 842	—	—	—	—	2.005	1.902	—	—	0.236	0.332	0.381	0.563	—	—
棕榈酸甲酯 Methyl palmitate	1 923	1 926	2 195	2 202	—	—	0.810	0.506	0.444	0.482	0.276	0.543	0.500	0.549	—	—
正二十烷 Eicosane	1 995	2 000	1 982	—	—	—	0.669	0.559	—	—	—	—	—	—	—	—
正二十一烷 Heneicosane	2 094	2 100	2 082	—	—	—	0.613	0.487	0.357	0.173	—	—	—	—	—	—
二十二烷 Docosane	2 193	2 200	2 181	—	—	—	0.439	0.373	—	—	—	—	—	—	—	—
糠醇 Furfuryl alcohol	852	852	1 648	1 655	—	—	—	—	0.223	0.170	0.195	0.192	—	—	—	—

续表2 (Continued Tab. 2)

化合物 Compound	保留指数 Retention index (RI)						相对百分含量 Relative percentage (%)								
	NIST			GX			AH			HN		SX		YN	
	HP-5	NIST	DB-wax	HP-5	DB-wax	HP-5	DB-wax	HP-5	DB-wax	HP-5	DB-wax	HP-5	DB-wax	HP-5	DB-wax
对二甲苯 <i>p</i> -Xylene	868	866	1 137	1 139	—	—	—	—	0.484	0.419	—	—	—	—	—
1,2-环戊二酮 1,2-Cyclopentanone	921	—	1 747	—	—	—	—	—	0.077	0.090	—	—	—	—	—
苯酚 Phenol	978	981	1 980	1 987	—	—	—	—	1.021	1.209	1.463	1.843	—	—	—
甲基环戊烯醇酮 Methyl cyclopentenolone	1 023	1 034	1 806	1 830	—	—	—	—	0.416	0.371	0.603	0.604	—	—	—
4-甲基-2(5H)-呋喃酮 4-Methyl-2(5H)-furanone	1 041	—	1 849	—	—	—	—	—	0.286	0.419	—	—	0.239	0.507	—
对甲酚 <i>p</i> -Cresol	1 072	1 075	2 056	2 059	—	—	—	—	0.492	0.290	0.692	0.619	—	—	—
5-氧-4-己内酯 5-Oxo-4-hexanolide	1 124	—	2 023	—	—	—	—	—	0.188	0.422	0.311	0.178	0.068	0.044	—
苯乙腈 Benzyl cyanide	1 131	1 145	1 891	1 927	—	—	—	—	0.058	0.204	—	—	—	—	—
壬酸 Nonanoic acid	1 263	1 280	2 152	2 159	—	—	—	—	0.628	0.419	—	—	—	—	—
1-茚酮 1-Indanone	1 282	—	1 968	—	—	—	—	—	0.172	0.200	—	—	—	—	—
4-乙烯基愈创木酚 4-Vinylguaiacol	1 311	1 312	2 162	2 160	—	—	—	—	1.003	0.717	0.875	0.867	—	—	—
巨豆三烯酮 Megastig-matrienone	1 631	—	2 255	—	—	—	—	—	0.263	0.286	—	—	—	—	—
早熟素Ⅱ Precocene II	1 660	1 656	2 378	—	—	—	—	—	0.460	0.385	0.466	0.410	—	—	—
肉豆蔻酸乙酯 Ethyl myristate	1 785	1 799	2 034	2 040	—	—	—	—	0.279	0.424	—	—	—	—	—
2-甲基吡嗪 2-Methylpyrazine	837	839	1 259	1 264	—	—	—	—	—	—	0.019	0.118	—	—	—
庚醛 Heptanal	901	899	1 182	1 185	—	—	—	—	—	—	0.119	0.220	—	—	—
4-羟基丁酸 4-Hydroxybutanoic acid	912	—	1 605	—	—	—	—	—	—	—	1.474	0.290	1.677	0.456	—
2-乙基-6-甲基吡嗪 2-Ethyl-6-methylpyrazine	995	997	1 378	1 381	—	—	—	—	—	—	0.623	0.046	—	—	—
1H-吡咯-2-甲醛 1H-Pyrrole-2-carboxaldehyde	1 006	1 015	1 993	2 028	—	—	—	—	—	—	0.305	0.532	—	—	—
D-樟脑 <i>D</i> -Camphor	1 147	1 144	1 499	1 528	—	—	—	—	—	—	0.585	0.661	0.643	0.716	—
苯酞 Phthalide	1 351	—	2 295	—	—	—	—	—	—	—	1.412	0.816	—	—	—
9-氧化壬酸乙酯 9-Oxononanoic acid ethyl ester	1 502	1 507	2 068	—	—	—	—	—	—	—	0.868	0.610	0.810	0.759	—
9-芴酮 9-Fluorenone	1 745	1 752	2 675	—	—	—	—	—	—	—	0.499	0.048	—	—	—
植烷 Phytan	1 803	1 809	1 741	—	—	—	—	—	—	—	0.262	0.188	—	—	—
2-己烯醛 2-Hexenal	851	850	1 213	1 248	—	—	—	—	—	—	—	—	0.918	0.760	—
<i>A</i> -甲基-γ-丁内酯 α-Methyl-γ-Butyrolactone	947	957	1 568	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.736	0.456	—

续表2 (Continued Tab. 2)

化合物 Compound	保留指数 Retention index (RI)						相对百分含量 Relative percentage(%)											
	HP-5		NIST		DB-wax		NIST		GX		AH		HN		SX		YN	
	HP-5	NIST	DB-wax	NIST	HP-5	DB-wax	HP-5	DB-wax	HP-5	DB-wax	HP-5	DB-wax	HP-5	DB-wax	HP-5	DB-wax	HP-5	DB-wax
正己酸 1-Hexanoic acid	976	981	1 832	1 827	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.072	0.637	
正辛醇 1-Octanol	1 068	1 069	1 550	1 546	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.641	0.297	
芳樟醇 Linalol	1 097	1 094	1 539	1 540	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.220	0.259	
1,2,3,5-四甲基苯 1, 2, 3, 5-Tetramethyl- benzene	1 120	-	1 419	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.181	0.239	
脱氢甲羟戊酸内酯 De- hydromevalonic lactone	1 160	1 169	1 975	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.394	0.388	
辛酸 Octanoic acid	1 167	1 178	2 045	2 045	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.854	0.399	
2,6,11-三甲基十二烷 2,6,11-Trimethyldode- cane	1 491	-	1 434	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.339	0.335	
2,6,10-三甲基十五烷 2,6,10-Trimethylpenta- decane	1 643	-	1 610	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.272	0.240	

注：“-”表示该成分未检出；保留指数来源于 NIST Chemistry WebBook (<http://webbook.nist.gov/chemistry/>)。

Note: “-” means that the component was not detected; The retention index comes from the NIST Chemistry WebBook (<http://webbook.nist.gov/chemistry/>).

从图3可以看出,各个样品化合物类别大致相同,而各类别化合物数量存在一定差异。安徽样品包含6个化学类别,其中烃类及其衍生物挥发性化合物种类最多,为16种。除安徽样品外,其余样品

含酯类成分最多。湖南样品为所含挥发性类型最丰富,包含了以上9个化学类别,其中苯乙腈在其它四个样品都未检测到。

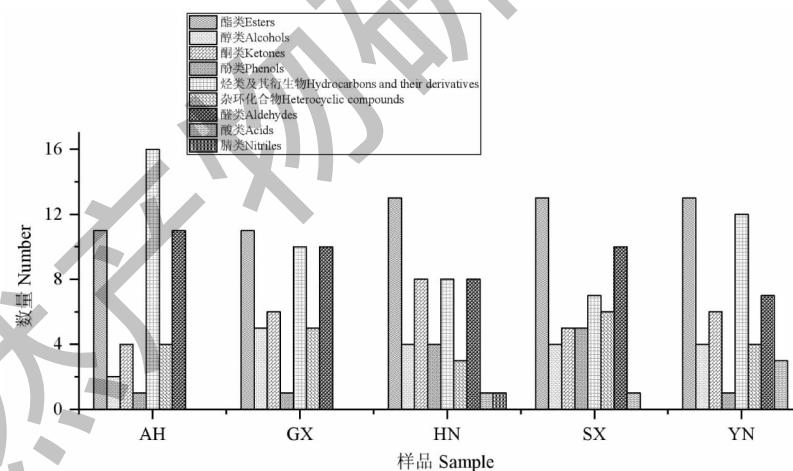


图3 五个不同产地绞股蓝茶的挥发性成分类别及各类别数量

Fig. 3 The five different origins of *G. pentaphyllum* tea volatile component categories and the number of each category

从广西、安徽、湖南、陕西和云南样品中分别鉴定得到48、49、50、51和50个化合物。五个不同产地绞股蓝有15个共有成分(表2),分别为苯甲醛、正辛醛、(E,E)-2,4-庚二烯醛、苯甲醇、苯乙醛、罗勒烯、香兰素、二氢猕猴桃内酯、月桂酸乙酯、2,4-二羟基-2,6,6-三甲基环己基乙酸γ-内酯、植酮、邻苯二甲酸二异丁酯、邻苯二甲酸二丁酯、棕榈酸乙酯、

十八酸乙酯。这些共有成分包括5个醛类、7个酯类、1个烃类、1个醇类、1个酮类。

采用峰面积归一化法计算各挥发性成分的相对百分含量,结果见表2。在五个样品中酯类相对百分含量占比均最大,但在安徽、广西样品中,酯类相对百分含量第一,其次为烃类及其衍生物,而在湖南、陕西和云南样品中,酯类相对百分含量最高,醛

类第二。从表 2 可知五个样品两种色谱柱检测结果基本一致,五个样品二氢猕猴桃内酯、棕榈酸乙酯含量均很高。在广西样品中,含量最高的化合物为二氢猕猴桃内酯,HP-5 和 DB-wax 两种色谱柱相对百分含量分别为 6.421% 和 15.124%;湖南样品二氢猕猴桃内酯含量最高,HP-5 和 DB-wax 两种色谱柱相对百分含量分别为 7.769% 和 7.467%;陕西样品二氢猕猴桃内酯含量也最高,HP-5 和 DB-wax 两种色谱柱相对百分含量分别为 7.624% 和 8.416%;而在安徽样品棕榈酸乙酯含量最高,HP-5 和 DB-wax 两种色谱柱相对百分含量分别为 12.471% 和 12.961%,云南样品棕榈酸乙酯含量最高,HP-5 和 DB-wax 两种色谱柱相对百分含量分别为 7.096% 和 11.601%。除以上两种主要挥发性成分外,广西样品主要成分还包括 2,4-二羟基-2,6,6-三甲基环己基乙酸 γ -内酯;安徽主要成分还包括四氯乙烷、5-羟甲基糠醛、咖啡因、反油酸乙酯、2,4-二羟基-2,6,6-三甲基环己基乙酸 γ -内酯;湖南样品主要成分还包括四氯乙烷、(E,E)-2,4-庚二烯醛、香兰素、苯乙醇、月桂酸乙酯和 2,3-二氢苯并呋喃、2,4-二羟基-2,6,6-三甲基环己基乙酸 γ -内酯;陕西样品主要成分还包括月桂酸乙酯、香兰素、2,3-二氢苯并呋喃;云南样品还包括苯甲醇、香兰素、月桂酸乙酯和苯乙醇。

2.2 绞股蓝挥发性成分气味描述和气味阈值

表 3 为五个绞股蓝茶挥发性化合物的气味描述

表 3 五个不同产地绞股蓝茶挥发性成分的气味描述和香气阈值

Table 3 Odor description and odor threshold of volatile components of *G. pentaphyllum* tea from five different origins

化合物 Compound	气味描述 Odor description	水中香气阈值 Odor threshold in water (mg/L)	空气中香气阈值 Odor threshold in air (mg/m ³)
1-戊烯-3-醇 1-Penten-3-ol	果香,蔬菜香 ^[5]	0.358 1	-
顺-2-戊烯醇 cis-2-Pentenol	蘑菇味,卷心菜 ^[6]	0.72	-
乙苯 Ethylbenzene	芳香气味 ^[5]	2.205 25	0.026
间二甲苯 m-Xylene	煤油味 ^[7]	1.1	1.3
苯甲醛 Benzaldehyde	果香,苦杏仁 ^[6]	3.5 ^[10]	0.085
甲基庚烯酮 Sulcatone	脂肪油腻气息,青叶 ^[9]	0.05	0.018 89
正辛醛 Octanal	橙皮 ^[5]	0.003 4	0.17
(E,E)-2,4-庚二烯醛 (E,E)-2,4-Heptadienal	脂肪油腻气息 ^[6]	0.015 4	-
(+)-柠檬烯 D-Limonene	柑橘,薄荷 ^[10]	0.01 ^[10]	0.045
苯甲醇 Benzyl alcohol	花香,甜 ^[8]	2.546 21	-
苯乙醛 Benzeneacetaldehyde	蜂蜜,玫瑰花香 ^[5]	0.004	0.000 6 ~ 0.00 12
罗勒烯 Ocimene	青草,花香,橙子 ^[10]	0.034 ^[10]	-
2-乙酰基吡咯 2-Acetylpyrrole	坚果 ^[8]	58.585 25	> 2

续表3 (Continued Tab. 3)

化合物 Compound	气味描述 Odor description	水中香气阈值 Odor threshold in water (mg/L)	空气中香气阈值 Odor threshold in air (mg/m ³)
(E,E)-3,5-辛二烯-2-酮 (E,E)-3,5-Octadien-2-one	辛辣,不愉快气味 ^[11]	0.10 ~ 0.15	-
壬醛 Nonanal	甜桔香,脂肪香,花香 ^[5]	0.001 1 ^[10]	0.003 1
茶香酮 Ketoisophorone	木香,果香,霉味 ^[6]	-	-
2,3-二氢苯并呋喃 2,3-Dihydrobenzofuran	花香 ^[13]	-	-
癸酸乙酯 Ethyl caprate	果香 ^[12]	0.005	0.001 3
香兰素 Vanillin	香草味 ^[16]	0.053 ^[16]	0.000 6 ~ 0.001 2
十二醛 Dodecanal	蜡质,肥皂 ^[7]	0.014	0.033
α-紫罗兰酮 α-Ionone	木香,紫罗兰香 ^[11]	0.000 6	0.000 1
香豆素 Coumarin	甜,干草 ^[15]	0.011	0.000 007
二氢猕猴桃内酯 Dihydroactinidiolide	木香,麝香 ^[11]	-	-
月桂酸乙酯 Ethyl dodecanoate	肥皂味 ^[12]	5.9	-
邻苯二甲酸二异丁酯 Isobutyl phthalate	淡淡芳香气味 ^[5]	-	-
棕榈酸乙酯 Ethyl hexadecanoate	清香,甜 ^[14]	2	-
亚油酸乙酯 Ethyl linoleate	脂肪香,果香 ^[12]	-	-
反油酸乙酯 Ethyl elaidate	机油 ^[14]	-	-
十八酸乙酯 Ethyl stearate	蜡质,微甜味 ^[14]	-	-
苯乙醇 Phenylethyl Alcohol	花香,玫瑰香,蜂蜜 ^[5]	0.14	0.012 ~ 0.021
萘 Naphthalene	樟木 ^[11]	0.006 8	< 1.6
癸醛 Decanal	薄荷,青叶 ^[7]	0.07 ~ 0.46	0.002 6
二苯甲酮 Benzophenone	玫瑰香 ^[17]	-	-
棕榈酸甲酯 Methyl palmitate	轻微果香 ^[5]	> 2	-
糠醇 Furfuryl alcohol	焦糖 ^[18]	4.500 50	-
苯酚 Phenol	甜焦油,辛辣,甜 ^[6]	58.585 25	0.022
甲基环戊烯醇酮 Methyl cyclopentenolone	调料 ^[19]	0.415 ^[19]	-
对甲酚 p-Cresol	草药,烟熏味 ^[8]	0.003 9	0.000 3 ~ 0.001
壬酸 Nonanoic acid	青叶,脂肪香 ^[5]	-	-
4-乙烯基愈创木酚 4-Vinylguaiacol	烟熏 ^[20]	0.003	0.002 8
肉豆蔻酸乙酯 Ethyl myristate	紫罗兰 ^[12]	4	-
2-甲基吡嗪 Methylpyrazine	坚果 ^[18]	0.06	1.9
庚醛 Heptanal	青叶,抹茶香气 ^[11]	-	0.26
2-乙基-6-甲基吡嗪 2-Ethyl-6-methylpyrazine	泥土 ^[16]	0.04	-
1H-吡咯-2-甲醛 1H-Pyrrole-2-carboxaldehyde	霉味,咖啡味 ^[8]	65	-
D-樟脑 (R)-camphor	青叶,塑料 ^[17]	1.36	-
2-己烯醛 2-Hexenal	青草,动物油脂 ^[17]	0.030	-
正己酸 1-Hexanoic acid	汗臭 ^[16]	3	0.004 7 ~ 0.010
芳樟醇 Linalol	花香,薰衣草 ^[5]	0.0250	0.002
辛酸 Octanoic acid	汗,奶酪 ^[8]	19	0.005 1
植酮 Hexahydrofarnesyl acetone	烧焦甜香味 ^[14]	-	-
B-环柠檬醛 β-Cyclocitral	甜 ^[12]	0.005	-

续表3 (Continued Tab. 3)

化合物 Compound	气味描述 Odor description	水中香气阈值 Odor threshold in water (mg/L)	空气中香气阈值 Odor threshold in air (mg/m ³)
4-甲氧基苄醇 4-Methoxybenzyl alcohol	甜, 粉状 ^[12]	38	-
苯乙腈 Benzyl cyanide	腌制味, 辛辣 ^[10]	1	-
4-[2,2,6-三甲基-7-氧杂二环[4.1.0]庚-1-基]-3-丁烯-2-酮 4-(2,2,6-trimethyl-7-oxabicyclo[4.1.0]heptan-1-yl)but-3-en-2-one	木香 ^[21]	0.1	-
α -甲基- γ -丁内酯 α -Methyl- γ -Butyrolactone	木香 ^[22]	-	-
1,2,3,5-四甲基苯 1,2,3,5-Tetramethylbenzene	辛辣, 青草, 柑橘 ^[23]	-	-
脱氢甲羟戊酸内酯 Dehydromevalonic lactone	甜 ^[24]	-	-
2,4-二甲基苯甲醛 2,4-Dimethylbenzaldehyde	甜 ^[25]	-	-
1-茚酮 1-Indanone	木屑, 腐烂, 烧焦 ^[26]	-	-
4-甲基-2(5H)-呋喃酮 4-Methyl-2(5H)-furanone	花香, 肥皂 ^[27]	-	-
4-羟基丁酸 4-Hydroxybutanoic Acid	果香 ^[28]	-	-
3-羟基- β -环柠檬醛 3-Hydroxy- β -cyclocitral	青叶香 ^[29]	-	-
1,2-环戊二酮 1,2-Cyclopentanedione	焦糖 ^[30]	-	-
对二甲苯 p-Xylene	甜 ^[21]	0.53	0.6

注:“-”表示该成分香气阈值未查询到; 气味描述来源于文献, 香气阈值来源于文献和 VCF Online 网站 (<https://www.vcf-online.nl/VcfHome.cfm>)。

Note: “-” means that the aroma threshold of the component is not found; Odour description is from literature, aroma threshold is from literature and VCF Online website (<https://www.vcf-online.nl/VcfHome.cfm>).

3 讨论

本研究采用 SAFE 提取了五个不同产地绞股蓝茶的挥发性成分, 通过 GC-MS 分析及香气结果表明五个样品最主要成分都为二氢猕猴桃内酯和棕榈酸乙酯, 但是含量有所不同, 表明不同产地绞股蓝茶挥发性成分存在一定差异。Blythe 等^[31] 使用 HS-SPME/GC-MS 对美国密西西比州栽种的绞股蓝茶挥发性成分进行了分析, 共检出 29 种挥发性成分, 主要成分为安息香醛(15.3%)、桉叶油醇(8.7%)、甲基庚烯酮(7.8%)、(Z)-3-己烯醛(7.6%)和 α -紫罗兰酮(6.3%)。而在本实验中, 五个绞股蓝茶样品均检测到安息香醛, 但含量远低于该文献报道。广西和湖南样品中检测到 α -紫罗兰酮, 广西、湖南和陕西样品中均检测到甲基庚烯酮, 桉叶油醇和 (Z)-3-己烯醛在五个样品都未检测到。与已报道文献相比较, 绞股蓝茶挥发性成分存在差异性, 可能存

在以下几个因素: 一是提取方法不同; 二是由于挥发性成分对遗传和环境因素, 包括气候, 土壤状况, 该植物品种和生长地点都很敏感, 以上条件不同导致五个不同产地绞股蓝挥发性成分存在差异。

在鉴定出的大量挥发物中, 能影响食物整体香气的挥发物很少, 香气成分的种类及含量决定着绞股蓝茶的质量。在五个绞股蓝茶样品中, 酯类化合物含量最高且种类丰富, 推测酯类对绞股蓝茶香气有一定贡献。据文献报道, 苯甲醛、(*E,E*)-2,4-庚二烯醛、苯乙醛、二氢猕猴桃内酯是茶的关键香气化合物^[32], 而在绞股蓝茶五个样品中, 以上四种化合物均可检测到。二氢猕猴桃内酯是茶叶高质量风味的关键香料之一, 因其在五个不同地区绞股蓝中含量很高, 所以推测其对绞股蓝香气可能具有重要贡献, 为绞股蓝茶的关键香气成分之一, 该化合物在食品工业和卷烟工业中有着重要的应用价值。结合五

个不同产地绞股蓝茶中化合物的相对含量和阈值,可知五个不同产地绞股蓝茶都具有与真正茶相同的关键香气成分,还具有它本身特有的香气特征成分。

4 结论

本实验对云南玉溪、安徽亳州、湖南张家界、广西金秀和陕西平利五个不同产地绞股蓝茶的挥发性成分进行了鉴定,结果表明不同来源的绞股蓝茶风味不尽相同。二氢猕猴桃内酯为五种不同产地绞股蓝茶中共有关键成分,为绞股蓝茶贡献了木香气味。此外,不同产地绞股蓝茶还具有其独特的特征成分。1-戊烯-3-醇、苯乙醛、4-[2,2,6-三甲基-7-氧杂二环[4.1.0]庚-1-基]-3-丁烯-2-酮为广西绞股蓝茶贡献了青叶香、花香、和木香;(*E,E*)-2,4-庚二烯醛,(+)-柠檬烯,苯乙醛,苯乙醇为安徽绞股蓝茶贡献了脂肪油腻气息、柑橘味、花香;(*E,E*)-2,4-庚二烯醛,香兰素为安徽绞股蓝茶贡献了脂肪油腻气息、香草味;香兰素、2,3-二氢苯并呋喃为陕西绞股蓝茶贡献了香草味和花香;香兰素、苯乙醇为云南绞股蓝茶贡献了香草味和花香。绞股蓝茶作为茶饮风味俱佳,且有多种保健功效,预示绞股蓝具有很好的生产应用价值和市场开发前景。因此,本研究为绞股蓝茶风味物质的深入研究奠定了基础,也为绞股蓝茶的开发利用提供了理论依据。

参考文献

- Cui WY, Jin YL, Liu H, et al. Dammarane-type saponins from *Gynostemma pentaphyllum* and their cytotoxicities [J]. Nat Prod Res, 2020, DOI:10.1080/14786419.2020.1723093.
- Wang J, Yang JL, Zhou PP, et al. Further New Gypenosides from Jiaogulan (*Gynostemma pentaphyllum*) [J]. J Agr Food Chem, 2017, 65:5926-5934.
- Bao FX, Tao LX, Zhang HY. Research progress on pharmacological effects of *Gynostemma pentaphyllum* active ingredients [J]. Chin J New Drugs Clin Remed(中国新药与临床杂志), 2018, 37(1):11-17.
- Guo XY, Wan XC. Extraction methods of tea aroma[J]. Food Safe Qual Detec Technol(食品安全质量检测学报), 2019, 10:4869-4876.
- Zhu Y, Yang T, Shi J, et al. Analysis of aroma components in Xihu Longjing tea by comprehensive two-dimensional gas chromatography-time-of-flight mass spectrometry[J]. Sci Agr Sin(中国农业科学), 2015, 48:4120-4146.
- Pang X, Yu W, Cao C, et al. Comparison of potent odorants in raw and ripened pu-erh tea infusions based on odor activity value calculation and multivariate analysis: understanding the role of pile fermentation [J]. J Agr Food Chem, 2019, 67: 13139-13149.
- Bravo-Lamas L, Barron LJR, Farmer L, et al. Fatty acid composition of intramuscular fat and odour-active compounds of lamb commercialized in northern Spain[J]. Meat Sci, 2018, 139:231-238.
- Wang Z, Xiao Q, Zhuang J, et al. Characterization of aroma-active compounds in four yeast extracts using instrumental and sensory techniques[J]. J Agr Food Chem, 2020, 68(1): 267-278.
- Marco S, Annalisa R, Luca C, et al. Solid state lactic acid fermentation:a strategy to improve wheat bran functionality[J]. LWT-Food Sci Technol, 2020, 118:108668.
- Yu AN, Yang YN, Yang Y, et al. Free and bound volatile compounds in the Rubus coreanus fruits of different ripening stages[J]. J Food Biochem, 2019, 43(10):e12964.
- Dai QY, Jin HZ, Gao J, et al. Investigating volatile compounds' contributions to the stale odour of green tea[J]. Int J Food Sci Technol, 2020, 55:1606-1616.
- Zhu L, Wang X, Song X, et al. Evolution of the key odorants and aroma profiles in traditional Laowuzeng baijiu during its one-year ageing[J]. Food Chem, 2020, 310:125898.
- Liu Y, Song H, Luo H. Correlation between the key aroma compounds and gDNA copies of *Bacillus* during fermentation and maturation of natto[J]. Food Res Int, 2018, 112: 175-183.
- Yang J, Sun SH, Jiang J, et al. Chemical composition and aromatic profiles of essential oil from *Rosa laevigata* by GC-MS/GC-O analysis[J]. Adv J Food Sci Technol, 2016, 11(2): 147-152.
- Bartsch J, Uhde E, Saltherammer T. Analysis of odour compounds from scented consumer products using gas chromatography-mass spectrometry and gas chromatography-olfactometry[J]. Anal Chim Acta, 2016, 904:98-106.
- Li HH, Qin D, Wu ZY, et al. Characterization of key aroma compounds in Chinese Guojing sesame-flavor Baijiu by means of molecular sensory science[J]. Food Chem, 2019, 284:100-107.
- Neta MTS, de Jesus MS, da Silva JLA, et al. Effect of spray drying on bioactive and volatile compounds in soursop (*Annona muricata*) fruit pulp[J]. Food Res Int, 2019, 124:70-

- 77.
- 18 Lasekan O, Teoh LS. Contribution of aroma compounds to the antioxidant properties of roasted white yam (*Dioscorea rotundata*) [J]. BMC Chem, 2019, 13(1):1-8.
- 19 Tatsu S, Matsuo Y, Nakahara K, et al. Key odorants in Japanese roasted barley tea (Mugi-Cha) differences between roasted barley tea prepared from naked barley and roasted barley tea prepared from hulled barley [J]. J Agr Food Chem, 2020, 68:2728-2737.
- 20 Majcher MA, Olszak-Ossowska D, Szudera-Kończal K, et al. Formation of key aroma compounds during preparation of pumpernickel bread [J]. J Agr Food Chem, 2019, 10: 1021/acs.jafc.9b06220.
- 21 Joshi R, Gulati A. Fractionation and identification of minor and aroma-active constituents in Kangra orthodox black tea [J]. Food Chem, 2015, 167:290-298.
- 22 Adeline B, Renaud B, Marc L, et al. Aroma compounds in fresh and dried mango fruit (*Mangifera indica* L. cv. Kent): impact of drying on volatile composition [J]. Int J Food Sci Technol, 2016, 51:789-800.
- 23 Leila QZ, Deborah SG, Karina LS, et al. Aroma compounds derived from the thermal degradation of carotenoids in a cashew apple juice model [J]. Food Res Int, 2014, 56:108-114.
- 24 Corsini L, Castro R, G Barroso C, et al. Characterization by gas chromatography-olfactometry of the most odour-active compounds in Italian balsamic vinegars with geographical indication [J]. Food Chem, 2019, 272:702-708.
- 25 Fracassetti D, Bottelli P, Corona O, et al. Innovative alcoholic drinks obtained by co-fermenting grape must and fruit juice [J]. Metabolites, 2019, 9(5):1-16.
- 26 Varlet V, Serot T, Cardinal M, et al. Olfactometric determination of the most potent odor-active compounds in salmon muscle (*Salmo salar*) smoked by using four smoke generation techniques [J]. J Agr Food Chem, 2007, 55:4518-4525.
- 27 Laurianne P, Karine GP, Cécile G, et al. Identification of compounds responsible for the odorant properties of aromatic caramel [J]. Flavour Fragr J, 2012, 27:424-432.
- 28 Albak F, Tekin AR. Variation of total aroma and polyphenol content of dark chocolate during three phase of conching [J]. J Food Sci Technol, 2016, 53(1):848-855.
- 29 Amanpour A, Sonmezdag AS, Kelebek H, et al. GC-MS-olfactometric characterization of the most aroma-active components in a representative aromatic extract from Iranian saffron (*Crocus sativus* L.) [J]. Food Chem, 2015, 182:251-256.
- 30 Vazquez-Cruz MA, Jimenez-Garcia SN, Torres-Pacheco I, et al. Effect of maturity stage and storage on flavor compounds and sensory description of berrycactus (*Myrtillocactus geometrizans*) [J]. J Food Sci, 2012, 77(4):C366-373.
- 31 Blythe EK, Demirci B, Goger F, et al. Characterization of volatile and polar compounds of jiaogulan tea [*Gynostemma pentaphyllum* (Thunb.) Makino] by hyphenated analytical techniques [J]. Asian J Chem, 2017, 29:1285-1290.
- 32 Wang MQ, Ma WJ, Shi J, et al. Characterization of the key aroma compounds in Longjing tea using stir bar sorptive extraction (SBSE) combined with gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS), gas chromatography-olfactometry (GC-O), odor activity value (OAV), and aroma recombination [J]. Food Res Int, 2020, 130:108908.