

GC-MS 结合 ROAV 分析评价加工工艺对藤茶香气成分的影响

Analysis of volatile aroma components of *Ampelopsis grossedentata* tea with different processing technology based on GC-MS combined with ROAV

张锦程^{1,2} 余 佶^{1,2} 麻成金^{1,2} 姚茂君^{1,2} 吴竹青^{1,2}

ZHANG Jin-cheng^{1,2} YU Ji^{1,2} MA Cheng-jin^{1,2} YAO Mao-jun^{1,2} WU Zhu-qing^{1,2}

(1. 食药两用资源研究与高值化利用湖南省重点实验室, 湖南 吉首 416000;

2. 吉首大学化学化工学院, 湖南 吉首 416000)

(1. Hunan Provincial Key Laboratory of Research, Resource Mining and High-Valued Utilization on Edible & Medicinal Plant, Jishou, Hunan 416000, China; 2. College of Chemistry and Chemical Engineering, Jishou University, Jishou, Hunan 416000, China)

摘要:目的:探讨加工工艺对藤茶特征香气成分的影响。

方法:分别采用传统加工工艺、红茶加工工艺、绿茶加工工艺、黑茶加工工艺制备 4 种不同的藤茶样品,以自然干燥的显齿蛇葡萄叶为对照,通过顶空固相微萃取和气相色谱—质谱联用技术结合相对气味活度值(ROAV)分析不同样品的关键风味化合物。**结果:**从 4 种藤茶样品及对照样品中共检出 37 种挥发性风味化合物,其中,1-辛烯-3-醇、苯甲醇、 β -紫罗兰酮、苯乙醛、反式-2-己烯醛、二氢猕猴桃内酯、水杨酸甲酯 7 种物质为 4 种样品的共有组分;ROAV 值显示,1-辛烯-3-醇和 β -紫罗兰酮为共有关键香气组分,其中 β -紫罗兰酮的贡献度最大;藤茶制作工艺条件不同,其关键香气成分存在差异,红茶工艺组藤茶关键性香气成分中出现了红茶的标志性香气成分芳樟醇及反式-2-壬烯醛。**结论:**红茶工艺和绿茶工艺加工的藤茶与传统工艺的在香气表现水平上相差不大,而黑茶工艺加工的香气表现稍逊;发酵工序可考虑作为藤茶制作的优选关键工序之一。

关键词:藤茶;加工工艺;香气成分;相对气味活度值;顶空固相微萃取;气相色谱—质谱联用

Abstract: **Objective:** This study aimed to explore the influence of processing technology on characteristic aroma components of

Ampelopsis Grossedentata tea. **Methods:** Four different samples of *A. Grossedentata* were prepared by traditional processing technology, black tea processing technology, green tea processing technology and dark tea processing technology, and the key flavor compounds of different samples were analyzed by headspace solid-phase microextraction and gas chromatography-mass spectrometry combined with relative odor activity (ROAV), taking the naturally dried *A. Grossedentata* leaves as control. **Results:** A total of 37 volatile flavor compounds were detected from 4 kinds of *A. Grossedentata* tea samples and control samples, among which 7 substances including 1-octene-3-ol, benzyl alcohol, β -ionone, phenylacetaldehyde, trans-2-hexenal, dihydroactinidiolide and methyl salicylate were common components in 4 kinds of samples. ROAV value showed that 1-octene-3-ol and β -ionone was the common key aroma components. Among them, β -ionone contributes the most. The key aroma components of *A. Grossedentata* tea are different under different processing conditions, and linalool and trans-2-nonenal, the iconic aroma components of black tea, were detected in the key aroma components of *A. Grossedentata* tea in black tea processing group. **Conclusion:** The aroma performance of *A. Grossedentata* tea processed by black tea technology and green tea technology is similar to that of traditional technology, but the aroma performance of dark tea technology is slightly inferior. Fermentation process can be considered as one of the optimal key processes for making *A. Grossedentata* tea.

Keywords: *Ampelopsis grossedentata* tea; processing technology; aroma components; relative odor activity value (ROAV); headspace solid phase microextraction (HS-SPME); gas chroma-

基金项目:吉首大学校级科研项目(编号:Jdx20005);湖南省重点研发计划项目(编号:2022NK2036)

作者简介:张锦程,男,吉首大学在读本科生。

通信作者:吴竹青(1964—),女,吉首大学高级实验师。

E-mail: wuzhuqing093@126.com

收稿日期:2021-09-29

tography-mass spectrometry (GC-MS)

藤茶,亦称甘露茶、莓茶、雪茶等,为小叶种显齿蛇葡萄 [*Ampelopsis grossedentata* (Hand.-Mazz.) W. T. Wan] 的嫩茎叶参照茶叶制作工艺加工而成。研究^[1-3]表明,藤茶富含黄酮类化合物、氨基酸、多糖、矿物质等多种成分,特别含有 γ -氨基丁酸和蛋氨酸等氨基酸,其 45% 的黄酮类化合物中,主要功效成分二氢杨梅素占到约 58%,具有抗氧化、护肝、提神醒脑、抗疲劳、助消化等作用。藤茶功能突出,相较于咖啡因含量高使儿童、孕妇不宜饮用的茶叶而言,藤茶老少皆宜,在适饮性方面更加广泛,同时在保健功效上具有独特优势。

目前,湖南、贵州等地藤茶产品主要采用传统制作工艺进行加工,其操作工序主要包括采摘、萎凋、炒青、揉捻、堆放摊凉、烘干等^[4]。茶产品的加工工艺从根本上影响着茶的感官品质,是茶产品特征香气形成的重要环节,藤茶鲜叶和茶叶相比青草味更重,且藤茶香气前体物质含量偏低或前体物质向香气转化能力有限^[5]。为此,藤茶制作时,恰当工艺的选择是提高藤茶风味品质的重要因素,借鉴绿茶、红茶和黑茶等加工工艺的优点,尤其是红茶和黑茶加工中的发酵工序^[6-8],可能有助于提升藤茶的风味品质,目前暂无这方面的比较研究。

气相色谱—质谱联用技术(GC-MS)和顶空固相微萃取(HS-SPME)已被广泛应用于食品风味成分研究,对红茶、绿茶、白茶等六大类茶产品香气成分分析亦有较多报道^[9-12]。研究拟采用 HS-SPME/GC-MS 联用技术结合相对气味活度值(ROAV),对采用传统加工工艺、绿茶加工工艺、红茶加工工艺、黑茶加工工艺 4 种不同工艺加工的藤茶的挥发性香气成分进行分析评价,比较不同加工工艺对藤茶香气成分的影响,旨在为优质藤茶的生产提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

显齿蛇葡萄鲜茎叶:湖南湘西玉龙生态农业科技有限公司雪茶种植基地。

1.2 仪器与设备

数字恒温水浴锅:HH-S2 型,金坛市成辉仪器厂;

电子天平:FA2004 型,上海舜宇恒平科学仪器有限公司;

紫外—可见分光光度计:UV-2450 型,岛津仪器(苏州)有限公司;

电热恒温干燥箱:GZX-0246MBE 型,上海博迅医疗生物仪器股份有限公司;

气相色谱—质谱联用仪:7890A-5975C 型,美国 Agilent 公司;

固相微萃取装置:PC-420D 型,美国 Corning 公司。

1.3 茶样制备

为了评价不同加工工艺对藤茶香气成分的影响,采用传统加工工艺、红茶加工工艺、绿茶加工工艺、黑茶加工工艺 4 种不同的工艺对显齿蛇葡萄鲜叶进行加工,得到 4 种不同的藤茶样品,具体工艺流程如下:

传统加工工艺:采摘→挑选→摊放(萎凋)→炒青→揉捻→堆放摊凉→烘干→包装→产品

红茶加工工艺:原料采摘→萎凋→揉捻→发酵→烘焙→摊凉→复焙→包装→产品

绿茶加工工艺:原料采摘→萎凋→炒青→揉捻→干燥→包装→产品

黑茶加工工艺:原料采摘→杀青→初揉→渥堆→复揉→烘焙→黑毛茶→筛分→拼堆→压制→干燥→包装→砖茶产品

同时,采用直接自然干燥法得到显齿蛇葡萄鲜叶的干制品,作为对照样品。

1.4 香气成分分析方法

1.4.1 固相微萃取 采用 50/30 μm DVB/CAR/PDMS Stable Flex 固相微萃取头。在 15 mL 顶空进样瓶中加入 0.5 g 藤茶粉样,55 $^{\circ}\text{C}$ 恒温平衡 20 min,取出,加入转子,置于固相微萃取装置上,设置转速 60 r/min,选择萃取温度 60 $^{\circ}\text{C}$,平衡 10 min;而后插入经老化的 SPME 萃取头,吸附 1 h 后取出 SPME 吸附针,手动插入 GC 进样口,后在 250 $^{\circ}\text{C}$ 进样口解吸 5 min 后进行 GC-MS 检测。

1.4.2 气相色谱—质谱联用法

(1) 色谱条件:氮气为载气,HP-5MS 毛细管色谱柱(30 m $\times$ 250 μm $\times$ 0.25 μm),模式为恒流,柱流速 1.0 mL/min;升温程序为起始温度 50 $^{\circ}\text{C}$,保持 5 min,以速度 3 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升至 210 $^{\circ}\text{C}$,保持 3 min,再以 10 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升至 230 $^{\circ}\text{C}$,保持 2 min,进样口温度 250 $^{\circ}\text{C}$,分流比 5:1。

(2) 质谱条件:采用全扫描模式采集信号,电离源为 EI,电离能量 70 eV,接口温度 250 $^{\circ}\text{C}$,离子源温度 250 $^{\circ}\text{C}$,四极杆温度 150 $^{\circ}\text{C}$,扫描质量范围 30~500 amu。

1.5 藤茶挥发性香气成分 ROAV 值计算与评价

采用相对气味活度值(ROAV)评价检出挥发性成分对藤茶样品香气体系的贡献度^[13-15]。ROAV 值计算公式为:

$$V_i = (C_i / C_{\max}) \times (T_{\max} / T_i) \times 100, \quad (1)$$

式中:

V_i ——ROAV 值;

C_i ——藤茶某一香气组分的相对百分含量,%;

$C_{\max}$ ——藤茶香气体系中贡献最大组分的相对百分含量,%;

T_i ——该组分的香气阈值;

$T_{\max}$ ——藤茶香气体系中贡献最大组分的香气阈值。

藤茶中所有挥发性成分 ROAV 值 ≤ 100 , 对于某一种确定组分, ROAV 值越大, 则该物质对藤茶香气体系贡献度越大。ROAV 值 ≥ 1 的化合物为关键香气成分, $0.01 \leq \text{ROAV 值} < 1.00$ 为修饰香气成分, ROAV 值 < 0.01 为潜在香气成分。

1.6 数据分析

将 GC-MS 检出的未知化合物谱图与 NIST Library 数据库进行对比, 将匹配度 $> 80\%$ 的化合物作为暂定目标成分, 采用峰面积归一化法计算各组分相对含量; SPSS 19.0 进行数据处理。

2 结果与分析

2.1 不同加工工艺藤茶挥发性香气成分

按照传统加工工艺、红茶加工工艺、绿茶加工工艺、黑茶加工工艺等工艺制作藤茶, 然后运用 HS-SPME/GC-MS 检测挥发性香气成分, 结果见表 1 和表 2。

从表 1 和表 2 可看出, 5 组样品共检测出 37 种挥发性香气成分, 主要为醇、醛、酮类化合物。对照、传统工艺、红茶工艺、绿茶工艺、黑茶工艺 5 种样品中具有香气的化合物分别为 13, 23, 24, 26, 15 种, 累计占峰总面积的 62.963%, 50.508%, 67.240%, 56.230%, 55.972%。1-辛烯-3-醇、苯甲醇、反式-2-己烯醛、苯乙醛、 β -紫罗兰酮、水杨酸甲酯、二氢猕猴桃内酯 7 种物质为各工艺组藤茶共有组分, 呈愉快的花香、果香。不同工艺组藤茶的挥发性香气物质较对照组均有一定程度的提升, 且出现了独有的特征香气。

红茶工艺组藤茶的芳樟醇含量显著高于其他工艺组, 其他含量较高的成分还有反式-2-己烯醛、2-甲基丁醛等, 均表现出使人愉快的叶香、果香; 绿茶工艺组藤茶出现了萜品油烯、柠檬醛两种具有柠檬清香的挥发性成分, 构成了绿茶工艺所制藤茶的特殊香气; 黑茶工艺组藤茶挥发性成分相对较少, 占比较大的香气成分为 2-乙基己醇、(E,E)-2,4-庚二烯醛、反式-2-己烯醛, 表现出较自然干燥组藤茶更好的叶香、花香。

2.2 藤茶挥发香气成分 ROAV 值及评价

关键香气成分决定一个香气体系的大部分风味, 而修饰香气成分同样对香气品质有一定的贡献, 促进不同工艺所制藤茶香气差异的形成, 潜在性香气成分由于对香气体系贡献度小, 不作深入分析评价。

由表 3 可知, 在传统工艺、红茶工艺、绿茶工艺、黑茶工艺 4 组藤茶样品共有的 7 种香气成分中 (β -紫罗兰酮、1-辛烯-3-醇、苯甲醇、反式-2-己烯醛、苯乙醛、水杨酸甲酯、二氢猕猴桃内酯), 只有 β -紫罗兰酮和 1-辛烯-3-醇的

ROAV 大于 1, 为共有的关键香气组分, 尤其是 β -紫罗兰酮是所有藤茶样品中贡献度最大的关键香气成分, 呈现出令人愉悦的花香、紫罗兰香^[16-17], 可能对藤茶独特风味品质的形成有较大贡献。

由于各组藤茶制作工艺条件不同, 其关键香气成分存在差异。传统工艺组藤茶关键香气成分有 β -紫罗兰酮、癸醛、壬醛、1-辛烯-3-醇 4 种, ROAV 值分别为 100.000, 12.600, 2.438, 3.430, 另有 12 种修饰香气成分, 香气总体呈较浓郁的花香和果香。红茶工艺组藤茶关键性香气成分有 β -紫罗兰酮、2-甲基丁醛、反式-2-壬烯醛、1-辛烯-3-醇、苯乙醛、芳樟醇 6 种, ROAV 值分别为 100.000, 9.404, 6.673, 2.494, 1.461, 1.334, 另有 9 种修饰香气成分, 总体呈较浓郁花香、果香及一部分黄瓜香, 其中芳樟醇在红茶工艺组中为特有的关键香气成分, 呈独特的铃兰香气, 为红茶中标志性的香气成分^[8-9]。绿茶工艺组藤茶中关键香气成分有 β -紫罗兰酮、2-甲基丁醛、1-辛烯-3-醇、苯乙醛、壬醛、正己醛 6 种, ROAV 值分别为 100.000, 10.049, 4.746, 1.815, 1.726, 1.370, 另有 9 种修饰香气成分, 总体呈较为浓郁的果香、花香及一部分青草香。黑茶工艺组藤茶中关键香气成分有 β -紫罗兰酮、反式-2-壬烯醛、1-辛烯-3-醇、壬醛 4 种, ROAV 值分别为 100.000, 6.010, 1.669, 1.143, 修饰香气成分有 7 种, 整体呈现稍淡的果香、花香。值得注意的是, 红茶工艺和黑茶工艺两种藤茶样品中均出现了贡献度较高的关键香气成分反式-2-壬烯醛, 香气风味较为醇厚, 可能与发酵、渥堆工序有关。

通过对 4 种工艺制作藤茶香气成分的比较, 可以看出, 传统工艺组藤茶与红茶工艺组、绿茶工艺组藤茶在香气表现水平上 (关键香气成分、修饰香气成分的种类及贡献度等) 相差不大, 而黑茶工艺组藤茶的香气表现稍逊。红茶工艺组、黑茶工艺组藤茶共同出现对香气体系影响较大的关键香气成分反式-2-壬烯醛, 尤其是红茶工艺组藤茶关键性香气成分中出现了红茶的标志性香气成分芳樟醇, 可能与采用了发酵、渥堆工序有关^[18-19], 使藤茶具备了红茶等发酵茶的优秀香气, 发酵工序可考虑作为藤茶制作的优选关键工序之一。

3 结论

(1) 试验根据藤茶传统制作工艺, 同时借鉴红茶、绿茶、黑茶等成熟工艺, 制作藤茶样品, 以直接自然干燥显齿蛇葡萄叶作为对照样品。通过顶空固相微萃取和气相色谱-质谱联用技术分析挥发性香气成分, 共鉴定出 37 种化合物, 以醇、醛、酮类物质为主, 其他为烯炔类、酯类、内酯类、烷烃类等物质。1-辛烯-3-醇、苯甲醇、反式-2-己烯醛、苯乙醛、 β -紫罗兰酮、水杨酸甲酯、二氢猕猴桃内酯 7 种物质为 4 种藤茶样品的共有挥发性香气成分。

表 1 藤茶挥发性香气成分及感官特征

Table 1 Volatile aroma components and sensory characteristics of *Ampelopsis grossedentata* tea

组别	保留时间/min	香气组分	相对含量/%					感官特征 ^[5,10]
			对照	传统工艺	红茶工艺	绿茶工艺	黑茶工艺	
烯烃	21.675	萜品油烯	—	—	—	0.699	—	柠檬气味
	7.224	叶醇	—	—	—	0.420	5.082	愉快气味
醇类	9.856	1-辛烯-3-醇	1.999	3.993	2.177	3.085	1.927	薰衣草、玫瑰香
	11.207	2-乙基己醇	23.951	—	1.737	4.120	19.286	淡甜花香
	14.183	芳樟醇	—	3.777	6.985	—	—	铃兰香
	15.568	苯甲醇	2.878	1.192	1.667	1.705	2.249	芳香味
	19.678	苯乙醇	1.404	1.231	1.118	1.376	—	玫瑰香
	20.323	α -松油醇	—	0.854	1.207	0.949	—	丁香风味
	23.558	橙花醇	—	4.266	—	—	—	柠檬味果香
	23.568	香叶醇	1.972	—	1.394	7.848	0.856	玫瑰香
	37.034	柏木脑	—	1.222	0.774	—	—	柏木香
	3.259	2-甲基丁醛	—	—	8.208	6.532	—	水果香
	5.647	正己醛	4.361	4.772	2.722	4.007	—	苹果香、青草香
	7.545	反式-2-己烯醛	—	3.411	9.191	6.088	7.923	愉快的果香和叶香
	7.582	2-己烯醛	12.474	1.748	—	—	—	绿叶清香
	8.208	正庚醛	—	—	—	0.373	—	果香味
	12.413	苯甲醛	2.158	4.874	7.876	4.161	—	杏仁气味
醛类	12.832	(<i>E,E</i>)-2,4-庚二烯醛	3.937	3.149	—	3.928	9.323	甜橙香
	13.802	反-2-辛烯醛	—	1.650	—	—	—	脂肪香气,兼有黄 瓜香
	14.772	壬醛	2.055	2.838	—	1.122	1.319	玫瑰、柑橘香
	16.542	苯乙醛	3.931	4.583	5.100	4.719	3.351	风信子香
	18.303	反式-2-壬烯醛	—	—	0.466	—	0.555	黄瓜香气
	19.532	癸醛	—	1.467	—	—	—	甜香、柑橘香
	22.744	2,3-二氢-2,2,6-三甲 基苯甲醛	—	—	0.420	—	—	甜香、藏红花香
	23.323	β -环柠檬醛	—	—	0.989	0.536	1.502	果香
	26.096	柠檬醛	—	—	—	0.351	—	柠檬香
	12.743	2,2,6-三甲基环己酮	—	—	0.575	—	—	烟香
	17.498	苯乙酮	—	0.780	1.141	0.730	0.847	芳香气味
酮类	17.644	6-甲基-3,5-戊二烯- 2-酮	—	—	—	0.449	—	肉桂香
	34.581	β -紫罗兰酮	0.657	0.815	0.611	0.455	0.808	紫罗兰香
	40.010	二苯甲酮	—	0.388	0.303	0.237	—	甜玫瑰香
	23.087	水杨酸甲酯	1.186	2.027	2.504	1.467	0.851	强烈冬青油香
酯类	38.890	酞酸二乙酯	—	0.343	0.282	—	—	略有芳香气味
	42.553	邻苯二甲酸二异丁酯	—	—	—	0.249	—	芳香气味
内酯类	38.014	二氢猕猴桃内酯	—	0.606	0.236	0.242	0.363	麝香、香豆素香
烷类	12.893	环辛烷	—	—	0.556	0.382	—	樟脑香
	34.788	2,6,10,14-四甲基十 五烷	—	0.522	—	—	—	烟香

表 2 藤茶挥发性香气成分种类的统计结果

Table 2 Statistics results of volatile aroma components in *Ampelopsis grossedentata* tea

成分类别	对照		传统工艺		红茶工艺		绿茶工艺		黑茶工艺	
	相对含量/%	种类	相对含量/%	种类	相对含量/%	种类	相对含量/%	种类	相对含量/%	种类
烯烃类	0.000	0	0.000	0	0.000	0	0.700	0	0.000	0
醇类	32.204	5	16.535	7	26.059	8	19.503	7	29.400	5
醛类	28.916	6	28.492	9	34.972	8	31.817	10	23.973	6
酮类	0.657	1	1.983	3	2.631	4	1.871	4	1.655	2
酯类	1.186	1	2.370	2	2.786	2	1.716	2	0.581	1
内酯类	0.000	0	0.606	1	0.236	1	0.242	1	0.363	1
烷类	0.000	0	0.522	1	0.556	1	0.382	1	0.000	0
总计	62.963	13	50.508	23	67.240	24	56.230	26	55.972	15

表 3 藤茶香气阈值和 ROAV 值

Table 3 The threshold value and ROAV of volatile aroma in *Ampelopsis grossedentata* tea

组别	香气组分	阈值/ ($\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	ROAV 值				
			对照	传统工艺	红茶工艺	绿茶工艺	黑茶工艺
醇类	1-辛烯-3-醇	1.000	2.130	3.430	2.494	4.746	1.669
	芳樟醇	6.000	—	0.541	1.334	—	—
	苯甲醇	1.000×10^4	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	苯乙醇	86.000	0.017	0.012	0.015	0.025	—
	α -松油醇	330.000	—	0.002	0.004	0.004	—
	橙花醇	300.000	—	0.012	—	—	—
	香叶醇	40.000	0.053	—	0.040	0.302	0.019
醛类	反式-2-己烯醛	17.000	—	0.172	0.619	0.551	0.404
	正己醛	4.500	1.033	0.911	0.693	1.370	—
	2-己烯醛	17.000	0.782	0.088	—	—	—
	苯甲醛	350.000	0.007	0.012	0.026	0.018	—
	反-2-辛烯醛	3.000	—	0.472	—	—	—
	反式-2-壬烯醛	0.080	—	—	6.673	—	6.010
	壬醛	1.000	2.189	2.438	—	1.726	1.143
	苯乙醛	4.000	1.047	0.984	1.461	1.815	0.726
	癸醛	0.100	—	12.600	—	—	—
	正庚醛	3.000	—	—	—	0.191	—
	β -环柠檬醛	5.000	—	—	0.227	0.165	0.260
	2-甲基丁醛	1.000	—	—	9.404	10.049	—
	2,2,6-三甲基环己酮	100.000	—	0.000	0.007	—	—
酮类	苯乙酮	65.000	—	0.010	0.020	0.017	0.011
	香叶基丙酮	60.000	—	—	—	—	—
	β -紫罗兰酮	0.007	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
酯类	水杨酸甲酯	40.000	0.032	0.044	0.072	0.056	0.018
内酯	二氢猕猴桃内酯	43.000	—	0.035	0.017	0.013	0.021

(2) 采用相对气味活度值进行分析评价,在传统加工工艺、红茶加工工艺、绿茶加工工艺、黑茶加工工艺 4 种藤茶样品共有的香气成分中,只有 1-辛烯-3-醇和 β -紫罗

兰酮的相对气味活度值大于 1,为共有的关键香气组分,尤其是 β -紫罗兰酮是所有藤茶样品中贡献度最大的关键香气成分,呈现令人愉悦的花香、紫罗兰香,可能对藤茶

独特风味的形成有较大贡献。

(3) 由于各组藤茶制作工艺条件不同,其关键香气成分存在差异。红茶工艺组藤茶关键性香气成分中出现了红茶的标志性香气成分芳樟醇及反式-2-壬烯醛,这可能与采用发酵工序有关,使藤茶具备了红茶等发酵茶的优良香气,发酵工序可考虑作为藤茶制作的优选工序之一,工艺条件参数优化有待进一步的深入研究。

参考文献

- [1] 吴海顺, 李伟业, 于华忠. 藤茶抗氧化活性成分及其应用研究进展[J]. 安徽农业科学, 2021, 49(17): 26-29.
WU Hai-shun, LI Wei-ye, YU Hua-zhong. Research progress of antioxidant active components and their application of vine tea[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2021, 49(17): 26-29.
- [2] 李佳川, 李思颖, 王优, 等. 藤茶化学成分、药理作用及质量标志物(Q-marker)预测分析[J]. 西南民族大学学报(自然科学版), 2021, 47(3): 254-266.
LI Jia-chuan, LI Si-ying, WANG You, et al. Predictive analysis on chemical composition, pharmacological effects and quality marker (Q-marker) of *Ampelopsis grossedentata*[J]. Journal of Southwest Minzu University (Natural Science Edition), 2021, 47(3): 254-266.
- [3] 王元霞, 洪正善, 杨柯, 等. 藤茶中二氢杨梅素的研究进展[J]. 沈阳药科大学学报, 2020, 37(6): 569-576.
WANG Yuan-xia, HONG Zheng-shan, YANG Ke, et al. Research progress of dihydromyricetin in *Ampelopsis grossedentata*[J]. Journal of Shenyang Pharmaceutical University, 2020, 37(6): 569-576.
- [4] 张敏, 余佶, 王琪琰, 等. 基于熵权法和灰色关联分析的藤茶理化品质评价与分级应用[J]. 食品与机械, 2021, 37(1): 186-192.
ZHANG Min, YU Ji, WANG Qi-yan, et al. Evaluation and classification for physicochemical quality of vine tea on entropy method and grey relation analysis[J]. Food & Machinery, 2021, 37(1): 186-192.
- [5] 张敏, 余佶, 王琪琰, 等. 藤茶感官特征定量描述分析与风味轮构建[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(8): 134-139.
ZHANG Min, YU Ji, WANG Qi-yan, et al. The quantitative analysis of the sensory characteristics of vine tea and the construction of flavor wheel [J]. Food and Fermentation Industries, 2021, 47(8): 134-139.
- [6] 杨立娜, 吴凯为, 徐清莹, 等. 冠突散囊菌发酵对荔枝草茶主要成分及风味的影响[J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(13): 121-125.
YANG Li-na, WU Kai-wei, XU Qing-ying, et al. Effects of *Eurotium cristatum* fermentation on main quality components and flavor of *Salvia plebeia* tea[J]. Food and Fermentation Industries, 2019, 45(13): 121-125.
- [7] 刘威, 张永瑞, 鲁静, 等. 不同加工工艺刺槐花代用茶香气成分分析[J]. 食品工业科技, 2021, 42(1): 250-256.
LIU Wei, ZHANG Yong-rui, LU Jing, et al. Analysis of aroma components of alternative tea for acacia *Robinia pseudoacacia* flowers in different processing techniques[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(1): 250-256.
- [8] 王秋霜, 凌彩金, 乔小燕, 等. 萎凋及发酵时间对广东丹霞红茶香气及品质的影响[J]. 茶叶科学, 2019, 39(3): 342-354.
WANG Qiu-shuang, LING Cai-jin, QIAO Xiao-yan, et al. Effect of withering and fermentation duration on aroma and qualities in Guangdong Danxia black tea[J]. Journal of Tea Science, 2019, 39(3): 342-354.
- [9] 李俊, 祝愿, 方舒婷, 等. 基于固相微萃取气质联用对贵州红茶香气成分特征的研究[J]. 食品工业科技, 2021, 42(13): 304-316.
LI Jun, ZHU Yuan, FANG Shu-ting, et al. Study on aroma composition characteristics of Guizhou black tea by solid phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry [J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(13): 304-316.
- [10] 申东, 沈强, 潘科, 等. 基于 HS-SPME/GC-MS 定性半定量分析藤茶特征香气[J]. 贵州农业科学, 2010, 38(11): 67-70.
SHEN Dong, SHEN Qiang, PAN Ke, et al. Qualitative and semi-quantitative analysis of specific aroma in *Ampelopsis grossedentata* based on HS-SPME/GC-MS [J]. Guizhou Agricultural Sciences, 2010, 38(11): 67-70.
- [11] 谢关华, 陆安霞, 欧阳珂, 等. GC-MS 结合化学计量学用于探究六大茶类香气形成的差异[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(20): 260-270.
XIE Guan-hua, LU An-xia, OUYANG Ke, et al. Analysis of the differential aroma formation in six categories of teas by GC-MS combined with chemometrics[J]. Food and Fermentation Industries, 2021, 47(20): 260-270.
- [12] 傅海峰, 林琼珍, 朱晨, 等. 6 种不同香型白茶香气成分的 GC-MS 分析[J]. 食品与生物技术学报, 2020, 39(10): 91-97.
FU Hai-feng, LIN Qiong-zheng, ZHU Chen, et al. GC-MS analysis of aroma components of white tea with six different aroma types[J]. Journal of Food Science and Biotechnology, 2020, 39(10): 91-97.
- [13] 樊艳. SPME-GC-MS 结合 ROAV 分析腐乳中的主体风味物质[J]. 食品工业科技, 2021, 42(8): 227-234.
FAN Yan. SPME-GC-MS combined with ROAV analysis of main flavor compounds in fermented bean curd[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(8): 227-234.
- [14] ZHU Yi-fan, CHEN Jing, CHEN Xing-jie, et al. Use of relative odor activity value (ROAV) to link aroma profiles to volatile compounds: application to fresh and dried eel[J]. International Journal of Food Properties, 2020, 23(1): 2 257-2 270.
- [15] 杜勃峰, 丁筑红, 李达, 等. 基于 SPME-GC-MS 结合 ROAV 分析评价不同加工方式下皱椒辣椒粉风味品质[J]. 中国调味品, 2019, 44(8): 76-80.
DU Bo-feng, DING Zhu-hong, LI Da, et al. Analysis of flavor quality of *Capsicum annuum* paprika with different processing methods based on SPME-GC-MS combined with ROAV[J]. China Condiment, 2019, 44(8): 76-80.

(下转第 31 页)

- [7] 刘厚清, 景梦瑶, 周涛. 白米的加工精度对食味及经济性的影响[J]. 粮食加工, 2018, 43(5): 36-41.
- LIU Hou-qing, JING Meng-yao, ZHOU Tao, et al. The effect of the processing precision of white rice on the taste and economy[J]. Grain Processing, 2018, 43(5): 36-41.
- [8] BILLIRS M A, SIEBENMORGEN T J, MEULLENET J F, et al. Rice degree of milling effects on hydration, texture, sensory and energy characteristics: Cooking using excess water[J]. Journal of Food Engineering, 2012, 113(4): 559-568.
- [9] CHOI S, SEO H S, LEE K R, et al. Effect of milling and long-term storage on volatiles of black rice (*Oryza sativa* L.) determined by headspace solid-phase microextraction with gas chromatography-mass spectrometry[J]. Food Chemistry, 2019, 276: 572-582.
- [10] MAHUMD M M, OH Y, KIM T H, et al. Effects of milling on aromatics, lipophilic phytonutrients, and fatty acids in unprocessed white rice of scented rice 'Cheonjiyang-1-se' [J]. Food Science and Biotechnology, 2018, 27(2): 383-392.
- [11] LU W, LIN T, REN Z, et al. Rapid discrimination of *Citrus reticulata* 'Chachi' by headspace-gas chromatography-ion mobility spectrometry fingerprints combined with principal component analysis[J]. Food Research International, 2020, 131: 108985.
- [12] LIS Y, YANG H F, TIAN H H, et al. Correlation analysis of the age of brandy and volatiles in brandy by gas chromatography-mass spectrometry and gas chromatography-ion mobility spectrometry[J]. Microchemical Journal, 2020, 157: 104948.
- [13] 刘强, 刘纪伟, 田恬, 等. 高温胁迫下糙米短期储藏气味指纹图谱变化规律的动态分析[J]. 中国农业科学, 2021, 54(2): 379-391.
- LIU Qiang, LIU Ji-wei, TIAN Tian, et al. Dynamic analysis for the characteristics of flavor fingerprints for brown rice in short-term storage under high temperature stress [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2021, 54(2): 379-391.
- [14] YANG Y, WANG B, FU Y, et al. HS-GC-IMS with PCA to analyze volatile flavor compounds across different production stages of fermented soybean whey tofu [J]. Food Chemistry, 2021, 346: 128880.
- [15] LI M Q, YANG R W, ZHANG H, et al. Development of a flavor fingerprint by HS-GC-IMS with PCA for volatile compounds of *Tricholoma matsutake* Singer[J]. Food Chemistry, 2019, 290: 32-39.
- [16] 鲜灵芝, 刘金阳, 鲁金花, 等. 基于气相色谱-离子迁移谱分析杨梅酒和糯米杨梅酒的风味特征[J]. 食品与机械, 2021, 37(2): 14-18.
- XIAN Ling-zhi, LIU Jin-yang, LU Jin-hua, et al. The flavor characteristics of bayberry wine and glutinous rice bayberry wine were analyzed based on gas chromatography-ion migration spectrum[J]. Food & Machinery, 2021, 37(2): 14-18.
- [17] YANG X S, ZHU K L, GUO H M, et al. Characterization of volatile compounds in differently coloured *Chenopodium quinoa* seeds before and after cooking by headspace-gas chromatography-ion mobility spectrometry[J]. Food Chemistry, 2021, 348: 129086.
- [18] 赵卿宇, 沈群. GC-IMS 技术结合化学计量学方法在青稞分类中的应用[J]. 中国粮油学报, 2020, 35(2): 165-169.
- ZHAO Qing-yu, SHEN Qun. Application of GC-IMS technology combined with chemometrics method in classification of hulless barley[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2020, 35(2): 165-169.
- [19] 苏慧敏, 张敏, 苗菁, 等. 不同加工程度大米食味变化分析[J]. 食品科学, 2016, 37(18): 58-63.
- SU Hui-min, ZHANG Min, MIAO Jing, et al. Changes in rice taste with milling degree[J]. Food Science, 2016, 37(18): 58-63.
- [20] 崔琳琳, 赵燊, 周一鸣, 等. 基于 GC-MS 和电子鼻技术的大米挥发性风味成分分析[J]. 中国粮油学报, 2018, 33(12): 134-141.
- CUI Lin-lin, ZHAO Shen, ZHOU Yi-ming, et al. Analysis of volatile flavors of rice based on GC-MS and electronic nose technology[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2018, 33(12): 134-141.
- [21] BERGMAN C J, DELGADO J T, BRYANT R, et al. Rapid gas chromatographic technique for quantifying 2-acetyl-1-pyrroline and hexanal in rice (*Oryza sativa* L.) [J]. Cereal Chemistry, 2000, 77(4): 454-458.
- MA Yu-qing, FANG Cheng-gang, XIA Li-fei, et al. Effect of different fermentation degree on aroma components of heavy withered 'Yunkang No.10' black tea[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2020, 33(4): 760-768.
- [19] 张厅, 刘晓, 熊元元, 等. 四川黑茶渥堆过程中主要品质成分和茶汤色差变化及其相关性研究[J/OL]. 食品与发酵工业. (2021-06-28) [2021-09-23]. <https://doi.org/10.13995/j.cnki.11-1802/ts.026946>.
- ZHANG Ting, LIU Xiao, XIONG Yuan-yuan, et al. Changes and correlation of main quality components and tea soup color difference of Sichuan dark tea during post-fermentation[J/OL]. Food and Fermentation Industries. (2021-06-28) [2021-09-23]. <https://doi.org/10.13995/j.cnki.11-1802/ts.026946>.

(上接第 25 页)

- [16] 金友兰, 黄甜, 蒋容港, 等. 不同类型发花砖茶特征香气成分研究[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(3): 188-196.
- JIN You-lan, HUANG Tian, JIANG Rong-gang, et al. Characteristic volatile components of different types of fermented brick tea[J]. Food and Fermentation Industries, 2021, 47(3): 188-196.
- [17] 马士成, 王梦琪, 刘春梅, 等. 六堡茶挥发性成分中关键香气成分分析[J]. 食品科学, 2020, 41(20): 191-197.
- MA Shi-cheng, WANG Meng-qi, LIU Chun-mei, et al. Analysis of volatile composition and key aroma compounds of Liupao tea[J]. Food Science, 2020, 41(20): 191-197.
- [18] 马玉青, 方成刚, 夏丽飞, 等. 不同发酵程度对重萎凋“云抗 10 号”红茶香气成分的影响[J]. 西南农业学报, 2020, 33(4): 760-768.