

湖南安化茯砖茶与其他地区黑茶香味 物质差异性研究

李 灿^{1,2}, 陈同强^{1,2*}, 廖燕芝^{1,2}, 黄 燕^{1,2}, 易守福^{1,2}, 向 俊^{1,2}

(1. 湖南省食品质量监督检验研究院, 长沙 410111; 2. 食品安全监测与预警湖南省重点实验室, 长沙 410111)

摘 要: 目的 探讨湖南安化茯砖茶和其他不同地区黑茶样品香味物质差异。**方法** 以湖南安化茯砖茶和广西六堡茶等其他 5 种不同地区黑茶样品为实验材料, 运用顶空固相微萃取法, 结合气相色谱-质谱联用技术, 对黑茶样品香气成分进行分析、鉴定和定量, 比较研究湖南安化茯砖茶与其他地区黑茶样品香味物质差异性。

结果 从湖南安化茯砖茶和其他不同地区 5 种黑茶中共鉴定出 46 种香气化合物, 主要为醇类、酮类、醛类、芳香族类、萜烯类等; 湖南安化茯砖茶香味物质以醇类、酮类和醛类为主, 百分比含量分别达到 43.74%、20.03% 和 12.83%, 含量较高的成分是芳樟醇(34.67 $\mu\text{g/L}$)、反式- β -紫罗兰酮(12.19 $\mu\text{g/L}$)、己醛(6.07 $\mu\text{g/L}$)和二氢猕猴桃内酯(4.97 $\mu\text{g/L}$)。**结论** 本研究进一步证实了湖南安化茯砖茶特有香味的主要香气成分是芳樟醇、反式- β -紫罗兰酮、己醛和二氢猕猴桃内酯等物质, 为湖南安化茯砖茶的特征鉴别提供了一定的依据。

关键词: 香气成分; 黑茶; 顶空固相微萃取; 气相色谱-质谱联用法

Study on the difference of aroma components between Anhua Fu brick tea in Hunan and dark tea in other areas

LI Can^{1,2}, CHEN Tong-Qiang^{1,2*}, LIAO Yan-Zhi^{1,2}, HUANG Yan^{1,2}, YI Shou-Fu^{1,2}, XIANG Jun^{1,2}

(1. Hunan Institute of Food Quality Supervision Inspection and Research, Changsha 410111, China;

2. Hunan Provincial Key Laboratory of Food Safety Monitoring and Early Warning, Changsha 410111, China)

ABSTRACT: Objective To investigate the differences of aroma components between Fu brick tea in Anhua and other dark tea samples from different regions. **Methods** Using the dark tea samples from 6 different regions, such as Fu brick tea in Anhua and Liubao tea in Guangxi, as the experimental materials, the aroma components of the dark tea samples were analyzed, identified and quantified by headspace solid-phase micro-extraction combined with gas chromatography-mass spectrometry, the differences of aroma components between Fu brick tea and the other dark tea samples from other regions had been compared. **Results** A total of 46 aroma components were identified from Fu brick tea in Anhua and 5 kinds of dark tea from other regions, mainly including alcohols, ketones, aldehydes, aromatics and terpenes. Alcohols, ketones and aldehydes were the main aroma components in Anhua Fu brick tea, with the percentages of 43.74%, 20.03% and 12.83% respectively. The higher content of Fu brick tea in Anhua were linalool (34.67 $\mu\text{g/L}$), *Trans*- β -ionone (12.19 $\mu\text{g/L}$), hexanal (6.07 $\mu\text{g/L}$) and dihydrokiwifruit lactone (4.97 $\mu\text{g/L}$).

基金项目: 湖南省科技创新计划重点研发计划项目(2018NK2034)

Fund: Supported by the Key Research and Development Projects of Hunan Science and Technology Innovation Plan (2018NK2034)

*通信作者: 陈同强, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为食品检测安全技术与标准化研究。E-mail: hhctq@126.com

*Corresponding author: CHEN Tong-Qiang, Master, Senior Engineer, Institute of Food Quality Supervision Inspection and Research, No.238, Shidaiyangguang Road, Yuhua District, Changsha 410111, China. E-mail: hhctq@126.com

Conclusion This study further confirm that the main aroma components of Fu brick tea in Anhua are linalool, *Trans*- β -ionone, hexanal and dihydrokiwifruit lactone *etc.* It provides data support for characteristic identification of Fu brick tea in Anhua, Hunan.

KEY WORDS: aroma substances; dark tea; headspace solid phase micro-extraction; gas chromatography-mass spectrometry

0 引言

黑茶作为我国特有的茶类品种, 具有悠久的历史传承。黑茶分布广泛, 种类繁多, 主要包括湖南茯砖茶、广西六堡茶、陕西黑茶、湖北青砖茶、四川康砖茶和云南普洱茶等几类。

一直以来, 人们将香气作为评判茶叶品质的重要指标之一, 黑茶的香气在很大程度上直接决定了黑茶的品质以及价格。茶叶香气是茶原料在制茶过程中进行复杂的反应而产生的, 来自不同的茶叶品种, 经过不同的加工工艺, 成品茶中香气组分、含量都有较大差异。黑茶的特征茶香主要形成于渥堆工艺, 在此工序中, 受微生物影响以及茶叶本身湿热的协同作用, 茶叶内的某些化合物发生一系列化学变化, 从而形成了黑茶独有的风味品质^[1-3]。一般来说, 不同地区的黑茶在品质上具有一定的相似性, 但因各类黑茶的具体加工工序千差万别^[4-7], 传统的黑茶主要以 3 级毛茶为原料, 同时拼配部分 4 级茶及其他茶制作而成, 湖南安化茯砖茶还有其特有的“发花”工艺等^[8], 这些加工工艺的差异使得黑茶呈现十分丰富的风味特征。

近年来, 黑茶市场看好, 加工工艺进一步优化, 使得黑茶品质得到非常大的提升, 而茶叶香气成分又成了鉴别茶叶品种的主要指标成分^[9-14], 顶空固相微萃取(headspace solid-phase micro-extraction, HS-SPME)在茶叶香气成分筛查上的应用较广泛, 具有准确、灵敏、快速、选择性好等优点^[15-16]。目前顶空固相微萃取技术已成功应用于绿茶^[17-18]、乌龙茶^[19]、红茶^[20]和普洱茶^[11-12, 15]等茶中香气成分的分析, 但对其他黑茶中香气成分鉴别的研究报道鲜见。本研究采用 HS-SPME 结合气相色谱-质谱联用法(gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS)分析、鉴定和定量湖南安化茯砖茶、广西六堡茶、陕西黑茶、湖北青砖茶、四川康砖茶及云南普洱茶 6 种典型黑茶的香气成分, 通过比较 6 种黑茶的异同, 为湖南安化茯砖茶的特征鉴别提供一定的依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

湖南安化茯砖茶(淘宝-白沙溪旗舰店, 产于湖南省安化县); 六堡茶(淘宝-陈伯茶行, 产于广西省梧州苍梧县); 陕西黑茶(淘宝-普兰度食品专营店, 产于陕西省泾阳县);

青砖茶(淘宝-羊楼洞茶店, 产于湖北省赤壁市); 康砖茶(淘宝-早上春旗舰店, 产于四川省雅安市); 普洱茶(熟茶)(淘宝-荣瑞祥旗舰店, 产于云南省勐海县)。

正构烷烃($C_8 \sim C_{20}$)、环己酮(2000 $\mu\text{g/mL}$, 美国 Sigma-Aldrich 公司); 己醛、癸酸乙酯、庚醛、 α -蒎烯、苯乙醛、苯乙酮、芳樟醇氧化物 I、芳樟醇氧化物 II、芳樟醇、壬醛、苯乙醇、反式- α -紫罗兰酮、顺式-香叶基丙酮、反式- β -紫罗兰酮、 α -萜品醇、香叶醇、2-戊基呋喃、2-乙基己醇、雪松醇、反式-2-壬烯醛、藏花醛、吡啶、1,2,3-三甲氧基苯、1,2,4-三甲氧基苯(纯度 $\geq 98.0\%$, 美国 Alfa Aesar 公司)。

1.2 仪器与设备

7890B-5977C 气相色谱-质谱联用仪(美国安捷伦公司); CNW 24-400 40 mL EPA 样品瓶(上海安谱科学仪器有限公司); EPFO-986369 磁力搅拌器(美国 TALBOYS 公司); HP-5MS 弹性石英毛细管柱(30 m $\times$ 0.32 mm, 0.25 μm)、手动 SPME 进样器、DVB/CAR/PDMS 固相微萃取头(美国 Supelco 公司); BSA224s 电子分析天平(北京赛多利斯仪器系统有限公司); HJ-M2 数显恒温水浴锅(江苏新春兰科学仪器有限公司)。

1.3 方法

1.3.1 样品处理

称取磨碎均匀样品 2.0 g (精确至 0.001 g), 置于 40 mL SPME 萃取瓶中, 加入 15 mL 80 $^{\circ}\text{C}$ 蒸馏水, 加入 150 μL 的 100 $\mu\text{g/L}$ 癸酸乙酯(内标)用密封垫封口。随后将其放入 80 $^{\circ}\text{C}$ 水浴锅中平衡 10 min, 使其挥发性组分充分挥发。然后将 SPME 针插入萃取瓶中, 固定好萃取手柄后, 推出纤维头, 保持 80 $^{\circ}\text{C}$ 顶空吸附 60 min, 随后迅速将萃取头插入 GC 进样口, 并推出纤维头, 240 $^{\circ}\text{C}$ 解吸 5 min^[8, 15, 21]。每个样品按照同样的处理方法做 3 次平行实验。

1.3.2 仪器条件

(1) 气相色谱条件

进样口温度为 250 $^{\circ}\text{C}$; 升温程序: 初始温度 40 $^{\circ}\text{C}$, 保持 3 min, 然后以 3 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升温至 210 $^{\circ}\text{C}$, 保持 1 min, 以 10 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升温至 260 $^{\circ}\text{C}$; 载气(He)流速: 1.0 mL/min, 进样量 1 μL ; 不分流进样。

(2) 质谱条件

电离方式电子电离(electron ionization, EI), 电离能量: 70 eV, 质谱接口温度: 250 $^{\circ}\text{C}$; 离子源温度: 220 $^{\circ}\text{C}$, 扫描方式: scan 模式, 离子碎片的扫描范围: m/z 35~650; 溶剂延迟

时间: 4.0 min。

1.4 挥发性成分数据分析

1.4.1 定性分析

通过运用质谱数据库(NIST08、NIST08s)进行相似度检索, 根据不同物质的基峰、质荷比和相对丰度做解卷积检索与人工解析, 质谱匹配度大于 80%作为物质鉴定标准。计算待测组分的保留指数(retention index, RI), 与文献报道的保留指数进行对比定性, 其中保留指数运算参照 VANDENDOOL 等^[21]的方法, 将待测物质的特征离子和 RI_x 与标准品比较进行定性, 计算公式见(1)。

$$RI_x = 100n + \frac{100(TR_x - TR_n)}{TR_{n+1} - TR_n} \tag{1}$$

式中: TR 为保留时间; x 为待测组分; n 和 n + 1 分别为待测组分出峰前后相邻的 2 个正构烷烃的碳原子数。

1.4.2 定量分析

具有标准品的挥发性成分, 配制质量浓度梯度分别为 1、2、5、10、20、50 μg/L 的混合标准品溶液, 按照 1.3.1 节方法处理, 建立标准曲线对茶叶挥发性成分进行定量。

不具有标准品的挥发性成分, 采用内标法进行定量, 计算公式见(2)。

$$C_i = C_{is} \times A_i / A_{is} \tag{2}$$

式中: C_i 为某个组分的浓度, μg/L; C_{is} 为内标的质量浓度, μg/L; A_i 为某个组分的色谱峰面积; A_{is} 为内标的色谱峰面积。

1.5 统计分析

通过 Microsoft Office Excel 2010 软件计算实验数据, 并绘制相关图表。

2 结果与分析

对湖南安化茯砖茶和其他不同地区 5 种黑茶进行气

相色谱-质谱联用分析, 通过谱库相似度比对、标准品比对及参考相关文献, 共鉴别出 46 种挥发性成分, 包括 12 种醇类、9 种酮类、8 种醛类、11 种芳香族类、3 种萜烯类、3 种其他类化合物, 详见表 1。

如图 1 所示, 不同地区黑茶香气成分组成及其比例具有一定的差异性, 湖南安化茯砖茶(图 2)以醇类、酮类和醛类为主, 百分比含量分别达到 43.74%、20.03%和 12.83%。这其中, 如表 2 所示, 湖南安化茯砖茶中香味物质含量较高的成分是芳樟醇、反式-β-紫罗兰酮、己醛和二氢猕猴桃内酯, 且芳樟醇(34.67 μg/L)、反式-β-紫罗兰酮(12.19 μg/L)和二氢猕猴桃内酯(4.97 μg/L)高于其他地区黑茶样品; 另外, 与其他 5 个地区的典型黑茶样品相比较, 湖南安化茯砖茶的 α-萜品醇含量低于广西六堡茶(7.80 μg/L)和陕西黑茶(7.69 μg/L), 壬醛含量低于湖北青砖茶(15.73 μg/L)和云南普洱茶(熟茶)(10.77 μg/L), 反式 α-紫罗兰酮和花侧柏烯低于四川康砖茶。

湖南安化茯砖茶中含量最高的是芳樟醇, 作为主要赋香成分的芳樟醇及其氧化物具有强烈的木香、玫瑰香及果香, 香气柔和、持久; β-紫罗兰酮呈暖的木香和较强的紫罗兰香气, 己醛则呈生的油脂、青草气及苹果香味, 呈香豆素样及麝香样气味^[22]。这些香味物质共同构成了湖南安化茯砖茶独特的“菌花香”, 既含木香、草香又具花果香。

香气成分的组成与含量差异, 形成了不同地区黑茶茶叶的特有香气特征, 并受茶树品种、原料及加工工艺等影响^[4]。湖南安化茯砖茶茶叶原料主要来源于湖南省安化县, 茶树品种也有别于其他地区茶叶, 尤其是湖南安化茯砖茶加工工艺有其特有的“发花”工艺, 可使茯砖茶产生金花, 即冠突散囊菌, 形成独特的“菌花香”, 这些可能是湖南安化茯砖茶中香味物质与其他地区黑茶样品有显著差异的主要原因^[8,23-24]。

表 1 不同地区黑茶样品香味物质汇总表
Table 1 Summary of aroma components in dark tea samples from different regions

分类	种类数	香味物质
醇类	12	芳樟醇氧化物 I、芳樟醇氧化物 II、芳樟醇氧化物 III、芳樟醇氧化物 IV、2-乙基己醇、芳樟醇、2,6-二甲基环己醇、苯乙醇、α-萜品醇、香叶醇、雪松醇、松油醇
酮类	9	苯乙酮、茶香酮、6,10-二甲基-2-十一酮、反式-α-紫罗兰酮、4-(2,4,4-三甲基-1,5-环己二烯-1-基)-3-丁烯-2-酮、二氢-β-紫罗兰酮、顺式-香叶基丙酮、反式-β-紫罗兰酮、植酮
醛类	8	己醛、庚醛、苯乙醛、壬醛、反式-2-壬烯醛、藏花醛、对异丙基苯甲醛、β-环柠檬醛
芳香族类	11	2-戊基呋喃、吡啶、1,2,3-三甲氧基苯、1,2,4-三甲氧基苯、邻甲酚、3,5-二甲基苯酚、1-甲基萘、联苯、菲、3,4-二甲氧基苯、二苯并吡喃
萜烯类	3	α-蒎烯、α-雪松烯、花侧柏烯
其他类	3	二氢猕猴桃内酯、十七烷、棕榈酸

表 2 安化茯砖茶与其他不同地区黑茶样品香味物质差异表

Table 2 Comparison of aroma components between Anhua Fu brick tea and dark tea samples in other regions

序号	化合物名称	含量/($\mu\text{g/L}$)					
		安化茯砖茶	广西六堡茶	陕西黑茶	湖北青砖茶	四川康砖茶	云南普洱茶
1	芳樟醇氧化物 I	1.95	2.08	4.98	1.49	3.50	11.75
2	芳樟醇氧化物 III	0.76	0.65	1.17	N.D.	4.72	0.70
3	芳樟醇	34.67	26.07	4.97	7.28	2.44	1.63
4	α -蒎品醇	1.52	7.80	7.69	0.75	2.09	2.77
5	雪松醇	3.56	14.98	0.68	0.45	3.44	0.37
6	反式- α -紫罗兰酮	1.29	0.52	0.49	1.41	18.17	1.28
7	顺式-香叶基丙酮	0.76	0.29	0.90	3.67	0.77	0.12
8	反式- β -紫罗兰酮	12.19	1.29	1.78	11.49	8.01	2.01
9	己醛	6.07	9.16	5.49	12.93	3.33	16.01
10	壬醛	2.28	4.51	2.68	15.73	5.38	10.77
11	藏花醛	1.80	1.72	4.96	6.09	2.16	3.37
12	1,2,3-三甲氧基苯	1.96	0.73	0.29	0.75	1.54	5.37
13	联苯	3.01	N.D.	N.D.	1.02	N.D.	N.D.
14	花侧柏烯	N.D.	0.66	N.D.	0.82	9.66	0.79
15	二氢猕猴桃内酯	4.97	0.82	0.43	0.44	0.58	0.76

注: N.D.表示未检出。

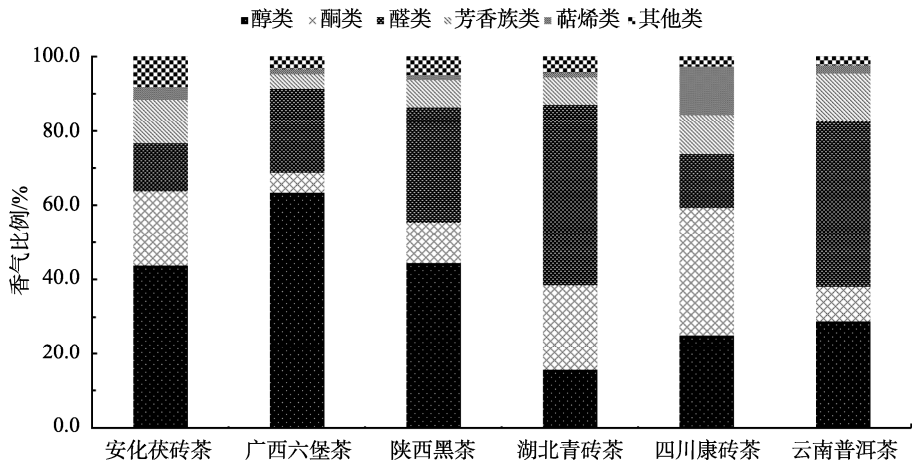


图 1 不同地区黑茶样品香气成分比例

Fig.1 Proportion of aroma compounds in different region dark teas

3 结论与讨论

本研究综合分析、鉴定并重点比较研究了湖南安化茯砖茶与其他 5 个不同地区典型黑茶样品的香气成分差异区

别。来自不同地区黑茶的香气成分区别可能是茶树品种、生长环境与加工工艺等多方面共同作用的结果^[1,25]。湖南安化茯砖茶中含量较高的是醇类、酮类、醛类和芳香族类等,主要包括芳樟醇、己醛、 β -紫罗兰酮、1,3-二甲氧基苯

等成分, 这几类化合物的风味特征主要为花香、清香与陈香, 其产生原因可能与湖南安化茯砖茶特殊的“发花”工艺具有一定关联^[23,26]。张亚等^[22]研究发现湖南安化茯砖茶形成“菌花香”的决定性成分包括芳樟醇及其氧化物、 α -紫罗兰酮和 β -紫罗兰酮、香叶基丙酮等。李永迪^[27]则分析研究了安化茯砖茶在发花和干燥过程中的香气成分组成及其变化情况, 研究结果显示在发花过程中醛类和酮类物质含量明显上升。这些与本研究基本一致, 本研究进一步证实了湖南安化茯砖茶形成特有香味“菌花香”的决定性成分是芳樟醇、反式- β -紫罗兰酮、己醛和二氢猕猴桃内酯等物质。不同地区黑茶的香气成分以及其比例不同形成了其各自独有的香气品质, 本研究结果明确了湖南安化茯砖茶与其他 5 种不同地区典型黑茶香气成分中特征成分的相同点和不同点, 但是这些异同点产生形成的原因机理还有待接下来更深入系统的研究, 本研究为湖南安化茯砖茶特征性鉴别提供了一定的依据。

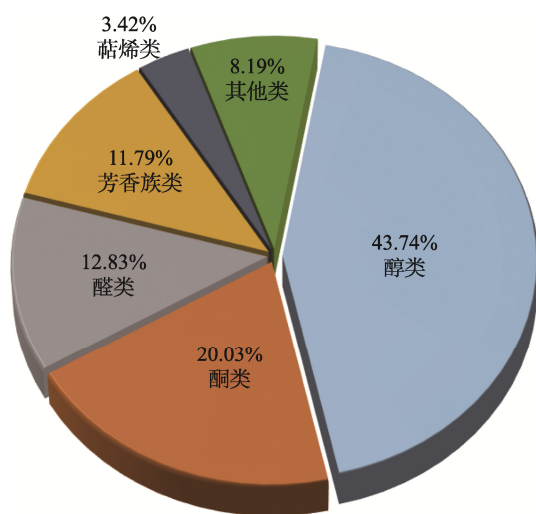


图 2 湖南安化茯砖茶香气成分比例分布

Fig.2 Proportion distribution of aroma components in Fu brick tea in Anhua, Hunan

参考文献

- [1] 张大春, 王登良, 郭勤. 黑茶渥堆作用研究进展[J]. 中国茶叶, 2005, 24(5): 6-8.
ZHANG DC, WANG DL, GUO Q. Research progress on piling effect of dark tea [J]. China Tea, 2005, 24(5): 6-8.
- [2] 曾斌, 向阳, 梁敏敏, 等. 安化黑茶加工过程中的微生物关系及保健功能研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2015, 6(5): 1536-1540.
ZENG B, XIANG Y, LIANG MM, et al. Research progress in the relationship between microorganism in the processing of Anhua dark tea and health care function [J]. J Food Saf Qual, 2015, 6(5): 1536-1540.
- [3] 辛董董, 张浩, 李红波, 等. 不同茶类挥发性成分中主要呈香成分研究进展[J]. 河南科技学院学报(自然科学版), 2019, 47(6): 21-28.
XIN DD, ZHANG H, LI HB, et al. Recent research on the key aroma components of volatile components of different teas [J]. J Henan Inst Sci Technol (Nat Sci Ed), 2019, 47(6): 21-28.
- [4] 康受婷. 不同茶树品种、生产季节和加工方法对茶叶挥发性化合物的影响[D]. 杭州: 浙江大学, 2016.
KANG SL. Effect of tea cultivar, growing season and processing method on volatiles of tea leaves [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2016.
- [5] NIE CN, ZHONG XX, HE L, et al. Comparison of different aroma-active compounds of Sichuan Dark brick tea (*Camellia sinensis*) and Sichuan Fuzhuan brick tea using gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) and aroma descriptive profile tests [J]. Eur Food Res Technol, 2019, 245(9): 1963-1979.
- [6] 宁井铭, 许姗姗, 侯智炜, 等. 贮存环境对普洱生茶主要化学成分变化的影响[J]. 食品科学, 2019, 40(8): 218-224.
NING JM, XU SS, HOU ZW, et al. Effects of storage environment on the main chemical components of raw Pu-erh tea [J]. Food Sci, 2019, 40(8): 218-224.
- [7] 孙振杰, 王梦馨, 崔林, 等. 普洱茶香气成分研究进展[J]. 茶叶通讯, 2020, 47(1): 13-19.
SUN ZJ, WANG MX, CUI L, et al. Research progress on aroma components in Pu'er tea [J]. J Tea Commun, 2020, 47(1): 13-19.
- [8] 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 YL, HUANG T, JIANG RG, et al. Characteristic volatile components of different types of fermented brick tea [J]. Food Ferment Ind, 2021, 47(3): 188-196.
- [9] WU JX, WU XR, YUAN GA, et al. Comparative analysis of aroma substances of vanilla co-fermented black tea [J]. Earth Environ Sci, 2021, 651(4): 42-47.
- [10] CHEN XH, SUN HY, QU D, et al. Identification and characterization of key aroma compounds in Chinese high altitude and northernmost black tea (*Camellia sinensis*) using distillation extraction and sensory analysis methods [J]. Flavour Frag J, 2020, 35(6): 666-673.
- [11] 念波, 焦文文, 和明珠, 等. 花果香与陈香型普洱茶生化成分与香气物质的比较[J]. 现代食品科技, 2020, 36(2): 241-248.
NIAN B, JIAO WW, HE MZ, et al. Determination and comparison of biochemical components and aroma substances in the Pu-erh teas with mellow flavor and floral-fruity aroma [J]. Mod Food Sci Technol, 2020, 36(2): 241-248.
- [12] 张纪伟, 沈雪梅, 张钊, 等. 不同产地和贮存年份普洱茶香气和呈味物质变化的比较研究[J]. 食品研究与开发, 2021, 42(9): 11-18.
ZHANG JW, SHEN XM, ZHANG Q, et al. Comparative study on changes of aroma and flavor components of raw Pu-erh tea produced in different producing areas and storage years [J]. Food Res Dev, 2021, 42(9): 11-18.
- [13] 刘晓慧, 张丽霞, 王日为, 等. 顶空固相微萃取-气相色谱-质谱联用法分析黄茶香气成分[J]. 食品科学, 2010, 31(16): 239-243.
LIU XH, ZHANG LX, WANG RW, et al. Analysis of volatile components of yellow tea by HS-SPME/GC-MS [J]. Food Sci, 2010, 31(16): 239-243.
- [14] 张婷, 倪辉, 伍菱, 等. 康砖茶叶风味特征及挥发性成分分析[J]. 食品科学, 2020, 41(6): 215-221.
ZHANG T, NI H, WU L, et al. Analysis of flavor characteristics and volatile compounds of Kangzhuang tea [J]. Food Sci, 2020, 41(6): 215-221.
- [15] 郭卫华, 刘顺航, 王秋月, 等. 普洱熟茶香气成分的顶空固相微萃取条件优化[J]. 食品安全质量检测学报, 2019, 10(13): 4266-4271.

- GUO WH, LIU SH, WANG QY, *et al.* Optimization of extraction conditions for headspace solid phase microextraction of aroma components from ripe Pu-er tea [J]. *J Food Saf Qual*, 2019, 10(13): 4266–4271.
- [16] DU LP, WANG C, LI JX. Optimization of headspace solid-phase microextraction coupled with gas chromatography-mass spectrometry for detecting methoxyphenolic compounds in Pu-erh tea [J]. *J Agric Food Chem*, 2013, 61(3): 561–568.
- [17] 孔维婷, 刘建军, 司辉清. 固相微萃取与气相色谱-质谱联用分析信阳毛尖香气成分[J]. *食品科学*, 2012, 33(12): 185–189.
- KONG WT, LIU JJ, SI HQ. Analysis of aroma components of Xinyang Maojian tea by SPME-GC-MS [J]. *Food Sci*, 2012, 33(12): 185–189.
- [18] YE N, ZHANG L, GU X. Discrimination of green teas from different geographical origins by using HS-SPME/GC-MS and pattern recognition methods [J]. *Food Anal Methods*, 2012, 5(4): 856–860.
- [19] LIN J, ZHANG P, PAN Z, *et al.* Discrimination of oolong tea (*Camellia sinensis*) varieties based on feature extraction and selection from aromatic profiles analysed by HS-SPME/GC-MS [J]. *Food Chem*, 2013, 141(1): 259–265.
- [20] 王秋霜, 陈栋, 许勇泉, 等. 广东红茶香气成分的比较研究[J]. *茶叶科学*, 2012, 32(1): 9–16.
- WANG QS, CHEN D, XU YQ, *et al.* Investigation and comparison of the aroma components in Guangdong black tea [J]. *J Tea Sci*, 2012, 32(1): 9–16.
- [21] VANDENDOOL H, KRATZ P. A generalization of the retention index system including linear temperature programmed gas-liquid partition chromatography [J]. *J Chromatogr A*, 1963, 11: 463–471.
- [22] 张亚, 李卫芳, 肖斌. 25 个湖南、陕西茯砖茶样品挥发性成分的 HS-SPME-GC-MS 分析[J]. *西北农林科技大学学报(自然科学版)*, 2017, 45(2): 151–160.
- ZHANG Y, LI WF, XIAO B. Analysis of volatile components of twenty-five Hunan and Shaanxi Fuzhuan tea samples by HS-SPME-GC-MS [J]. *J Northwest A & F Univ (Nat Sci Ed)*, 2017, 45(2): 151–160.
- [23] 李俊杰, 徐元昊, 陈梦娟, 等. 手筑茯砖茶加工过程中挥发性组分变化分析[J]. *食品科学*, 2020, 41(24): 144–154.
- LI JJ, XU YH, CHEN MJ, *et al.* Analysis of changes in volatile components during processing of handmade Fuzhuan tea [J]. *Food Sci*, 2020, 41(24): 144–154.
- [24] 李建勋, 杜丽平, 王超, 等. 顶空固相微萃取-气相色谱-质谱联用法分析黑茶香气成分[J]. *食品科学*, 2014, 35(2): 191–195.
- LI JX, DU LP, WANG C, *et al.* Analysis of aroma compounds in dark teas by head space-solid phase micro-extraction coupled with gas chromatography-mass spectrometry [J]. *Food Sci*, 2014, 35(2): 191–195.
- [25] 郑鹏程, 刘盼盼, 龚自明, 等. 5 种黑茶香气成分的比较分析[J]. *食品工业科技*, 2018, 39(22): 82–86.
- ZHENG PC, LIU PP, GONG ZM, *et al.* Comparative analysis of the aroma components in five kinds of dark tea [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2018, 39(22): 82–86.
- [26] LV S, WU Y, LI C, *et al.* Comparative analysis of Pu-erh and Fuzhuan teas by fully automatic headspace solid-phase microextraction coupled with gas chromatography-mass spectrometry and chemometric methods [J]. *J Agric Food Chem*, 2014, 62(8): 1810–1818.
- [27] 李永迪. 茯砖茶加工过程中特征性香气成分研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2019.
- LI YD. Study on characteristic aroma compounds during the process of Fu Brick tea [D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2019.

(责任编辑: 张晓寒 韩晓红)

作者简介



李 灿, 硕士, 工程师, 主要研究方向为食品检测技术研究。
E-mail: kylin491@126.com。



陈同强, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为食品检测安全技术与标准化研究。
E-mail: hhctq@126.com