

夏陈, 何扬航, 邓俊琳, 等. 金花藏茶渥堆加工过程中的挥发性风味分析及感官评定 [J]. 食品工业科技, 2022, 43(24): 305–310. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022030007

XIA Chen, HE Yanghang, DENG Junlin, et al. Volatile Flavor Analysis and Sensory Evaluation of Jinhua Tibetan Tea during Pile Processing[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(24): 305–310. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022030007

· 分析检测 ·

# 金花藏茶渥堆加工过程中的挥发性风味分析及感官评定

夏陈<sup>1</sup>, 何扬航<sup>1,2</sup>, 邓俊琳<sup>1</sup>, 向卓亚<sup>1</sup>, 谢庆玲<sup>2</sup>, 朱永清<sup>1</sup>, 陈建<sup>1</sup>, 朱柏雨<sup>1</sup>, 刘刚<sup>2,\*</sup>, 施刘刚<sup>3</sup>

(1. 四川省农业科学院农产品加工研究所, 四川成都 610066;

2. 四川师范大学生命科学学院, 四川成都 610101;

3. 雅安市雅州恒泰茶业有限公司, 四川雅安 625100)

**摘要:** 为阐明金花藏茶渥堆加工过程中香气品质的形成规律, 本实验利用气相色谱-质谱联用技术和感官评定对以金花藏茶为代表的雅安藏茶在渥堆加工过程中的挥发性成分以及风味变化进行探究。结果表明, 金花藏茶加工各阶段的样品中共鉴定出 80 种挥发性化合物。在黑毛茶中, 香气含量占比依次为醇类、酸类、碳氢类和氧杂环类, 在金花藏茶成品中, 香气含量占比依次为醇类、酮类、碳氢类和其他类。2,3-丁二醇、2,5-二甲基环己醇、2-癸烯-1-醇、1,2,3-丁三醇等主要醇类物质随着发酵进行而消失, 发酵 S2 阶段柠檬烯是最主要的香气成分 (占 85.4%)。随着渥堆加工过程的进行, 与花香气味相关的芳樟醇及其氧化物与  $\alpha$ -松油醇显著减少, 与藏茶陈香、菌香风味相关的 1,2,3-甲氧基苯以及烯醛类化合物总含量明显增加。研究结果为揭示金花藏茶挥发性物质的构成和转化, 探究其陈香风味的形成机制提供理论基础, 也为藏茶加工和质量把控提供参考。

**关键词:** 金花藏茶, 挥发性化合物, 渥堆, 气质联用, 风味

中图分类号: TS272

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2022)24-0305-06

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2022030007



本文网刊:

## Volatile Flavor Analysis and Sensory Evaluation of Jinhua Tibetan Tea during Pile Processing

XIA Chen<sup>1</sup>, HE Yanghang<sup>1,2</sup>, DENG Junlin<sup>1</sup>, XIANG Zhuoya<sup>1</sup>, XIE Qingling<sup>2</sup>, ZHU Yongqing<sup>1</sup>, CHEN Jian<sup>1</sup>, ZHU Boyu<sup>1</sup>, LIU Gang<sup>2,\*</sup>, SHI Liugang<sup>3</sup>

(1. Institute of Agro-Products Processing Science and Technology, Sichuan Academy of Agricultural Sciences, Chengdu 610066, China;

2. College of Life Sciences, Sichuan Normal University, Chengdu 610101, China;

3. Yazhou Hengtai Tea Industry Co., Ltd., Ya'an 625100, China)

**Abstract:** In order to investigate the formation and changes of aroma components during the pile-fermentation of Jinhua Tibetan tea, chromatography-mass spectrometry (GC-MS) was used to determine the volatile component, and sensory evaluation was used to test the flavor. Results showed that, 80 volatile compounds were identified from Jinhua Tibetan tea. The main aroma components were alcohols, acids, hydrocarbons, and heteroxygen in the Mao'chao stage, which were alcohols, ketones, hydrocarbons, and others in the final stage. The main alcohol compounds such as 2,3-butanediol, cyclohexanol, 2,5-dimethyl-, 2-decen-1-ol, (2E)-, 1,2,3-butanetriol disappeared over the fermentation. In S2 stage, limonene became the main volatile component, accounting for 85.4%. With the pile-fermentation of Jinhua Tibetan tea,  $\alpha$ -terpineol, linalool and its oxides, which were associated with floral smell, decreased significantly. 1,2,3-trimethoxybenzene

收稿日期: 2022-03-01

基金项目: 四川省农业科学院 1+9 揭榜挂帅项目-功能食品核心技术攻关 (1+9KJGG007); 四川省科技计划资助重点研发项目 (2019YFN0178)。

作者简介: 夏陈 (1983-), 男, 硕士, 副研究员, 研究方向: 功能食品研究开发, E-mail: 154541462@qq.com。

\* 通信作者: 刘刚 (1968-), 男, 硕士, 副教授, 研究方向: 食品加工、功能性食品、生物资源开发, E-mail: rh682@sohu.com。

and alkenals, which were associated with woody and stale smell, increased significantly. The results of this study would lay a theoretical foundation for aroma characteristics of Jinhua Tibetan tea, and provide a reference for tea processing and quality control.

**Key words:** Jinhua Tibetan tea; volatile component; pile-fermentation; gas chromatography-mass spectrometry; flavor

雅安藏茶是一种深度发酵茶,产于四川雅安,属于黑茶类,历史悠久最早可追溯于唐宋时期的茶马互市,被誉为藏族同胞的民生之茶。近年来,基于人们对茶叶保健作用认识的提高和对健康生活的追求,雅安藏茶产业蓬勃发展。据报道,2020年雅安干毛茶产量10.5万吨,全市茶园面积100万亩,综合产值超过190亿元<sup>[1]</sup>。雅安藏茶是以1芽1叶~5叶的茶树鲜叶为原料,经杀青、揉捻、渥堆、干燥、精制、拼配、蒸压等特定工艺制成的黑茶类产品。金花藏茶是在传统雅安藏茶生产工艺基础上增加“发花”工艺制作而成。香气是决定茶叶感观品质的关键要素之一,其实质为不同构成以及不同浓度的挥发性化合物对人体嗅觉器官产生的一种特定感觉<sup>[2]</sup>。正因为其独特的香型与风味,金花藏茶被越来越多消费者所接受喜爱。

在渥堆过程中,黑毛茶的内含物质在湿热作用和微生物代谢共同影响下不断地进行转化,由此形成黑茶特有的香型风味。马士成等<sup>[3]</sup>从六堡茶中鉴定出80种挥发性化合物,发现1-甲基萜、癸醛、 $\beta$ -紫罗兰酮、壬醛是六堡茶中最主要的香气特征化合物。张婷等<sup>[4]</sup>通过气相色谱-质谱联用技术对康砖茶香气成分进行分析,发现1,2,3-三甲氧基苯、二氢猕猴桃内酯、2-乙基己醇、雪松醇和苯乙醛是含量最高的挥发性化合物。赵阳等<sup>[5]</sup>采用顶空固相微萃取结合GC/MS技术发现普洱茶中D-柠檬烯、己醛、 $\alpha$ -松油醇、4-萜烯醇、脱氢芳樟醇、橙花叔醇等醇类物质甲氧基苯类物质随贮藏时间延长而上升,1-辛烯-3-醇、顺式芳樟醇氧化物、芳樟醇等随贮藏时间延长而降低。目前,已有许多学者研究了黑茶的主要香气成分,主要集中在普洱茶、安化黑茶、茯砖茶等,而四川黑茶的风味研究较少,对于藏茶渥堆过程中香气成分的构成及其动态变化尚未见报道。

本研究以金花藏茶黑毛茶、各阶段渥堆料、成品为对象,采用顶空固相微萃取(HS-SPME)和气质联用技术(GC/MS)对金花藏茶挥发性成分进行检测分析,并结合感官评定,揭示以金花藏茶为代表的雅安藏茶挥发性物质的构成和转化,旨在为藏茶香型风味的形成机制提供理论依据,也为藏茶加工和质量控制提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与仪器

雅安藏茶样品 为特级金花藏茶,由雅安市雅州恒泰茶业有限公司提供,鲜叶材料为1芽1、2叶标准。

Agilent 7890B-5977B型气相色谱-质谱联用仪

美国安捷伦公司;DZKW-4型电子恒温水浴锅 北京中兴伟业仪器有限公司;UPT-I-10T型优普纯水机 四川优普超纯科技有限公司。

### 1.2 实验方法

1.2.1 取样方法 在金花藏茶制茶过程中,分别取初制黑毛茶(MC),渥堆发酵第一次翻堆7 d(S1)、第二次翻堆14 d(S2)、第三次翻堆23 d(S3)、第四次翻堆31 d(S4)、第五次翻堆45 d(S5),以及干燥后的金花藏茶成品76 d(S6)用于实验。取渥堆样时分别取茶堆上层、中间以及底层由表及里30~50 cm部分茶样,每层选3个点各取200 g,混匀后-20℃低温保存带回实验室。为保证取样的一致性和实验准确性,所有茶样均为同一批次生产的茶叶。

1.2.2 气相质谱分析条件 参考赵阳等<sup>[5]</sup>的方法,略做修改,茶叶挥发性成分采用顶空固相微萃取(SPME)方法萃取。固相萃取头老化10 min,精准称取3 g已烘干粉碎过筛(60℃,80目筛)的茶粉样品于顶空瓶中,在60℃水浴条件下平衡10 min,萃取吸附50 min,解吸附3 min,同时仪器收集数据。

升温程序:进样口温度为240℃,ECD检测器温度为250℃;载气为高纯氦气;流速1.0 mL/min;50℃保持5 min,以3℃/min升至180℃保持2 min,然后以10℃/min升至250℃保持3 min。

MS条件:EI电离能量为70 eV;质量扫描范围为50~600 amu;离子源温度为230℃;四极杆温度为150℃;质谱传输线温度为280℃。

通过质谱数据库NIST17进行检索匹配,结合化合物相关的质谱资料和人工分析,对各个质谱峰所代表的化合物进行确定,采用峰面积归一化法计算各成分相对百分含量。

感官评价:参考GB/T 23776-2018茶叶感官审评方法,挑选8名专业茶叶品鉴人员对所有茶样进行感官评定。

### 1.3 数据处理

采用Origin 2021软件绘图,SPSS 26.0软件进行单因素方差分析(ANOVA)和Duncan多重比较方法进行显著性分析, $P < 0.05$ 表示差异具有显著性,数据结果以均值 $\pm$ 标准差表示( $n=3$ )。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同生产阶段金花藏茶中挥发性物质组成和含量

通过SPME顶空固相萃取和GC/MS技术对金花藏茶7个生产阶段茶样中的香气成分进行了检测分析。通过谱库检索和相关文献查询共鉴定出80种香气化合物,如表1所示,包括22种醇类、7种

表 1 金花藏茶渥堆加工过程中的香气成分及其相对含量  
Table 1 Volatile component and relative contents detected in Ya'an Tibetan tea

挥发性物质	保留时间(min)	CAS	平均相对含量(%)							
			MC	S1	S2	S3	S4	S5	S6	
醇类										
2,3-丁二醇	4.487	24347-58-8	25.60	-	-	-	-	-	-	-
[4-甲基-3-戊烯基]环氧乙烷甲醇	16.291		4.23	-	-	-	-	-	-	-
2,5-二甲基环己醇	17.152	3809-32-3	4.57	0.88	-	-	-	-	-	-
反式芳樟醇(呋喃类)	15.518	34995-77-2	3.53	3.25	3.58	5.94	-	8.53	-	-
2-癸烯-1-醇	11.722	18409-18-2	4.85	-	-	-	-	-	-	-
1,2,3-丁三醇	3.185	4435-50-1	1.91	-	-	-	-	-	-	-
1-苯乙醇	17.458	60-12-8	2.04	-	-	-	-	-	-	0.39
芳樟醇	16.892	78-70-6	1.96	2.17	0.33	1.91	1.75	2.10	0.76	
反式芳樟醇氧化物(呋喃)	15.711	34995-77-2	3.53	2.68	0.58	5.94	-	-	-	-
2,2,6-三甲基-6-乙炔基四氢-2-呋喃-3-醇	20.917		-	1.32	0.42	3.73	5.16	5.92	0.83	
$\alpha$ -松油醇	19.05	98-55-5	0.08	0.88	0.11	0.80	0.61	0.77	0.36	
5,5-二甲基-3-环己烯-1-醇	23.333	82299-68-1	-	0.48	-	-	0.76	0.72	-	
3-甲基-1,2-环戊烷二醇	17.283	27583-37-5	1.58	-	-	-	-	-	-	
十甘醇甲醚	51.833	27425-92-9	-	-	-	-	-	-	-	1.48
顺反2-乙基环己醇	17.8	3760-20-1	-	-	0.18	1.22	-	0.74	-	
氧化芳樟醇	20.917	14049-11-7	1.47	-	-	-	0.23	-	0.79	
柏木脑	25.717	77-53-2	-	-	-	-	-	-	-	1.05
2-甲基-5-(1-甲基乙炔基)-环己烷-1-醇	19.933	38049-26-2	0.24	-	1.10	1.06	-	-	-	
顺-4-甲基环己醇	16.15	7731-28-4	-	-	-	11.67	1.14	1.81	-	
5-甲基-5-乙炔基四氢呋喃	25.483		-	2.12	-	8.32	19.49	13.67	5.74	
O-甲基-十一乙二醇	56.417	114740-40-8	-	-	-	-	-	-	-	43.70
醛类										
$\beta$ -环柠檬醛	22.449	432-25-7	1.46	-	-	0.43	0.43	0.55	-	
(Z)-7-十六碳烯醛	30.133	56797-40-1	-	0.98	-	0.66	0.62	-	-	
2-乙基-2-己烯醛	16.5	645-62-5	-	-	-	-	0.07	-	3.19	
4,4,8-三甲基非-5-烯醛	21.033	66822-00-2	-	0.07	-	0.12	0.06	0.06	-	
酮类										
$\alpha$ -紫罗酮	23.817		0.28	0.20	-	0.23	-	-	-	
反式 $\beta$ -紫罗酮	33.813	79-77-6	0.94	0.83	-	0.46	0.25	0.47	-	
8-羟基-2,2,8-三甲基癸-5,9-二烯-3-酮	24.25	83040-92-0	-	3.41	-	-	-	-	11.27	
$\beta$ -紫罗兰酮	23.817	6901-97-9	-	-	-	0.81	-	-	-	
白蜡树精	24.05	91369-31-2	-	-	0.21	1.73	0.86	0.71	-	
左旋樟脑	18.683	464-48-2	-	-	-	-	0.20	0.17	0.11	
卡西酮	21.783		0.17	0.07	-	-	-	-	-	
酯类										
二氢猕猴桃内酯	35.411	17092-92-1	0.86	0.35	-	0.20	0.15	0.26	-	
癸基十一烷基碳酸酯	40.85		-	1.96	0.05	-	-	-	-	
3,7-二甲基-1,6-辛二烯-3-醇丙酸酯	22.85	144-39-8	-	0.14	-	-	0.38	0.43	-	
环己烷羧酸, 4-丁基, 4-丙氧基苯酯	39.467		-	0.26	-	0.26	0.22	0.42	-	
碳氢类										
cis-muuroloa-3,5-diene	24	-	0.05	-	-	0.13	0.03	0.18	-	
柠檬烯	13.445	5989-27-5	8.46	21.98	85.44	16.84	11.02	10.36	5.87	
$\gamma$ -柠檬烯	16.883	499-97-8	-	-	-	2.55	-	0.75	-	
顺反-4-萜烯	9.334	29050-33-7	2.96	-	-	-	-	-	-	
3-萜烯	14.89	13466-78-9	1.45	-	-	-	1.10	-	-	
叠氮2,2,4,6,6-五甲基庚烷	11.753	101398-78-1	-	10.52	3.88	-	-	-	-	
2,6,10,15-四甲基庚烷	25.306	54833-48-6	-	1.89	-	-	-	-	-	
蒎烯		7785-70-8	-	2.02	0.28	2.46	0.90	0.93	-	
$\alpha$ -柏木烯	23.383	469-61-4	0.11	0.22	-	-	0.11	0.24	4.84	
2-甲基双环非-1(6)-烯	22.992	60223-07-6	-	0.47	-	0.66	0.75	0.85	-	
3a,4,8a-trimethyl-7-methylenedecahydro-4,8-methanoazulene	23.517		-	-	-	0.70	3.61	3.99	-	

续表 1

挥发性物质	保留时间(min)	CAS	平均相对含量(%)						
			MC	S1	S2	S3	S4	S5	S6
$\gamma$ -榄香烯	23.85	29873-99-2	-	-	-	-	0.21	0.84	-
$\gamma$ -松油烯	16.633	99-85-4	-	-	2.34	-	-	-	-
顺反-环苜蓿烯	29.957	22469-52-9	-	-	0.14	1.74	3.42	4.00	-
茶香螺烷	22.833	36431-72-8	-	-	-	0.14	0.29	0.16	-
石竹烯	24.9	87-44-5	-	-	-	-	3.96	-	-
2,2,4,6,6-五甲基庚烷	16.35	13475-82-6	-	-	-	34.56	25.48	27.37	-
氧杂环类									
1,1,6-三甲基-1,2-二氢萘	23.267	30364-38-6	-	0.25	-	-	0.28	0.42	-
1,2,3,4-四氢-1,1,6-三甲基萘	23.567	475-03-6	-	0.07	-	-	0.12	0.18	-
草蒿脑	20.348	140-67-0	3.40	-	-	-	-	-	-
1,3-二叔丁基苯	24.137	1014-60-4	-	1.53	0.58	0.94	1.34	2.88	-
3-methyl-2-(2-oxopropyl)	39.662	87773-62-4	-	0.06	-	0.07	-	0.11	-
1,2,3-三甲氧基苯	20.8	634-36-6	-	-	-	-	0.56	0.64	0.11
N-乙基琥珀酰胺	19.85	2314-78-5	0.74	0.40	0.08	0.22	0.19	0.39	0.90
酸类									
乙酸	2.503	64-19-7	17.53	19.89	-	-	-	-	-
3-甲基戊酸	11.605	105-43-1	2.78	-	-	-	-	-	-
壬酸	25.562	112-05-0	2.82	1.44	0.08	0.20	-	-	-
其他									
L-精氨酸	13.75	53934-75-1	1.34	-	-	-	-	-	-
氯代十四烷	21.677	2425-54-9	-	0.86	-	0.13	0.12	0.11	-
氯代十二烷	23.983	112-52-7	-	0.46	0.22	0.45	0.20	0.64	-
1-氟十二烷	19.783	334-68-9	-	6.86	0.10	0.71	0.28	-	15.02
4-氨基-3-甲基苯酚	22.1	2835-99-6	2.39	0.67	-	-	-	-	0.47

注：“-”表示含量过低未检测出或未查到。

酮类、9 种醛类、5 种酯类、19 种碳氢类、9 种氧杂环类、3 种酸以及 6 种其他类。

在黑毛茶(MC)中鉴定出 32 种挥发性化合物,其中相对物质含量占比大于 1% 的化合物主要有 2,3-丁二醇(25.6%)、乙酸(17.53%)、柠檬烯(8.46%)、2-癸烯-1-醇(4.85%)、2-癸烯-1-醇(4.85%)、2,5-二甲基环己醇(4.57%);在渥堆 7 d 茶叶(S1)中鉴定出 37 种香气成分,其中相对含量大于 1% 的物质从高到低分别是柠檬烯(21.98%)、乙酸(19.89%)、叠氮 2,2,4,6,6-五甲基庚烷(10.52%)、1-氟十二烷(6.86%)、8-羟基-2,2,8-三甲基癸-5,9-二烯-3-酮(3.41%)、反式芳樟醇(呋喃类)(3.25%);在渥堆 14 d 材料(S2)中鉴定出 21 种挥发性化合物,主要有柠檬烯(85.44%)、叠氮 2,2,4,6,6-五甲基庚烷(3.88%)、 $\gamma$ -松油烯(2.34%)、(1 $\alpha$ ,2 $\beta$ ,5 $\alpha$ )-2-甲基-5-(1-甲基乙烯基)-环己烷-1-醇(1.1%)、反式芳樟醇(呋喃类)(0.58%)、反式芳樟醇氧化物(呋喃)(0.58%);在渥堆 23 d 茶料(S3)中鉴定出 43 种香气成分,主要有 2,2,4,6,6-五甲基庚烷(34.56%)、柠檬烯(16.84%)、顺-4-甲基环己醇(11.67%)、2-(5-甲基-5-乙炔基四氢呋喃-2-基)丙烷(8.32%)、反式芳樟醇(呋喃类)(5.94%)、反式芳樟醇氧化物(呋喃)(5.94%);在渥堆 31 d(S4)藏茶中鉴定出 47 种挥发性成分,主要有 2,2,4,6,6-五甲基庚烷(25.48%)、2-(5-甲基-5-乙炔基四氢呋喃-2-基)丙烷(19.49%)、柠檬烯(11.02%)、2,2,6-三甲基-6-乙炔

基四氢-2H-呋喃-3-醇(5.16%)、石竹烯(3.96%)、3a,4,8a-三甲基-7-亚甲基十氢-4,8-甲基亚唑烯(3.61%);在渥堆 46 d 茶叶(S5)中鉴定出 44 种香气物质,主要为 2-(5-甲基-5-乙炔基四氢呋喃-2-基)丙烷(13.67%)、柠檬烯(10.36%)、反式芳樟醇(呋喃类)(8.53%)、2,2,6-三甲基-6-乙炔基四氢-2H-呋喃-3-醇(5.92%)、顺反-环苜蓿烯(4%)、3a,4,8a-三甲基-7-亚甲基十氢-4,8-甲基亚唑烯(3.99%);在金花藏茶成品(S6)中共检测出 19 种香气成分,主要有 O-甲基-十一乙二醇(43.7%)、1-氟十二烷(15.02%)、8-羟基-2,2,8-三甲基癸-5,9-二烯-3-酮(11.27%)、柠檬烯(5.87%)、2-(5-甲基-5-乙炔基四氢呋喃-2-基)丙烷(5.74%)、 $\alpha$ -柏木烯(4.84%)。不同渥堆阶段的金花藏茶香气成分在构成和含量上均存在较大差异。在发酵过程中,黑茶内含物质处于一种动态变化过程,而陈香、糯香、枣香风味是由于茶叶中的挥发性物质不断地转化生成所生成的<sup>[6-7]</sup>。

## 2.2 金花藏茶渥堆加工过程中香气的组成比例与分析

金花藏茶渥堆各阶段茶叶中的挥发性成分可分为醇类、醛类、酮类、碳氢类、氧杂环类、酸类以及包含氨基酸、苯酚的其他类,其构成比例如图 1 所示。

醇类是黑毛茶和藏茶成品中占比最高的香气成分,其相对含量在 MC 和 S1 阶段呈下降趋势,在 S3 至 S6 阶段回升。2,3-丁二醇是黑毛茶中含量最高的挥发性化合物,随着渥堆的开始而完全消失,可

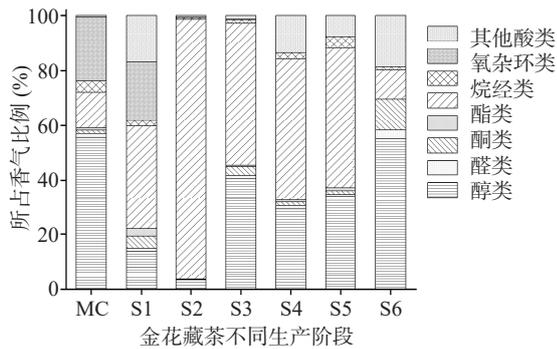


图 1 金花藏茶渥堆发酵过程中香气成分的变化情况

Fig.1 Changes of aroma components of Jinhua Tibetan tea during pile fermentation

能是因为作为小分子量的醇在发酵过程聚合转化成了其他化合物。其他醇类化合物如 2,5-二甲基环己醇、2-癸烯-1-醇、1,2,3-丁三醇、1-苯乙醇同样仅出现在发酵前期,随着发酵过程的进行而分解消失。在毛茶中芳樟醇及其氧化物相对含量为 10.5%,在 S3 阶段为 13.8%,在成品藏茶中为 1.96%。Du 等<sup>[8-9]</sup>关于普洱茶香气成分的研究显示,芳樟醇及其氧化物约占(4.38%~8.12%),是普洱茶相对含量最高的醇类挥发性化合物,它与  $\alpha$ -松油醇一起具有花香特征。

在各阶段金花藏茶香气成分中,醛类(0.6%~5%)和酯类(0.6%~2.72%)相对含量较低,烯醛化合物含量从 0.4% 涨至 3.2%,显著性增加( $P < 0.05$ )。有关研究表明,黑茶的菌香与烯醛类有关<sup>[10]</sup>。在本研究中,S6 与 MC 相比,醛类挥发性成分相对含量略有增加。在 Ma 等<sup>[11]</sup>关于黑茶香气的研究显示,酮类占比最高(25%~41%),其次是酯(15%~21%)和醇(7%~23%)。可能是因为香气物质提取手段不同,本实验所用茶叶样品未进行高温水提处理,高温溶液浸提对香气成分影响较大<sup>[12]</sup>。

与黑毛茶相比,金花藏茶成品中酮类含量占比增长了 10.17%。在关于青砖茶香气成分的研究显示,酮类化合物含量在加工过程中显著性增加<sup>[13]</sup>,与本实验结果相近。可以观察到 MC 和 S6 中碳氢类化合物含量占比几乎相同,但是在发酵过程变化程度很大,柠檬烯是含量最高的碳氢类化合物,在 S2 阶段最高达到了 85.5%,因其极易被氧化<sup>[14]</sup>,在 S6 阶段只有 5.9%。关于绿茶风味研究结果显示<sup>[15]</sup>,柠檬

烯相对含量约 1%,而在发酵茶中达到 27.7%<sup>[16]</sup>,白茶中 D-柠檬烯为最主要的香气化合物,占比达到 39.3%<sup>[17]</sup>。

各阶段茶叶中,氧杂环类含量占(0.66%~5.5%)。有关研究表明,黑茶陈香与 1,2,3-甲氧基苯等烷氧基苯类化合物相关<sup>[18]</sup>。表 1 结果显示,1,2,3-甲氧基苯只存在于渥堆后期 S4、S5、S6。此外,在发酵前期 MC 和 S1 中有 23.1% 与 21.3% 的酸类挥发性物质,随着发酵进行而消失。Zhang 等<sup>[19]</sup>研究结果表明,在黑茶发酵前期存在一定量的壬酸、2-甲基丁酸,在发酵后期显著性减少,与本研究结果相近。

### 2.3 感官评定

参考 GB/T 23776-2018 黑茶(散茶)品质评分表对各阶段渥堆阶段金花藏茶进行评价,结果如表 2 所示。从黑毛茶 MC 到金花藏茶成品 S6,茶叶外形颜色由暗绿色变为棕褐色,茶汤香气由青草绿茶香气变为糯米香、枣香、陈香、菌香,味道由苦涩变为醇和甘甜,汤色由亮黄变为红褐色,叶底由柔软不匀变为嫩匀明亮。分析结果显示,茶叶颜色、汤色、滋味、叶底各方面在 S5 时期已达到黑茶高品质水平,各项评价 S5 与 S6 无显著性差异( $P > 0.05$ ),只有香气方面 S5 与 S6 存在显著性差异( $P < 0.05$ )。结果表明只有经过 45 d 的渥堆以及 30 d 陈化后的茶叶样品(S6)才能形成浓厚醇香、菌香的黑茶香气。

### 3 结论与展望

利用顶空固相微萃取和气质联用技术对金花藏茶渥堆加工各阶段茶叶中的挥发性成分进行检测分析,共鉴定出 80 种挥发性化合物,从黑毛茶到金花藏茶成品 7 个阶段样品分别鉴定出 32、37、21、43、47、44、19 种香气化合物。在渥堆起始,茶叶中香气含量占比依次为醇类、酸类、碳氢类和氧杂环类,在金花藏茶成品中,香气含量占比依次为醇类、酮类、碳氢类和其他类。在渥堆加工过程中,醇、醛、酯、碳氢类相对含量均是先升后降,呈波动变化。2,3-丁二醇、2,5-二甲基环己醇、2-癸烯-1-醇、1,2,3-丁三醇等主要醇类物质随着发酵进行而消失。S2 阶段检测出香气成分种类最少,碳氢类占比最高,其中柠檬烯为含量最高化合物。随着渥堆加工的进行,与金花藏茶花香气味相关的芳樟醇及其氧化物与  $\alpha$ -松油醇显

表 2 金花藏茶渥堆过程中感官品质的变化(分)

Table 2 Changes in the organoleptic quality of Jinhua Tibetan tea during pile fermentation (scores)

样品	茶叶颜色	茶汤香气	滋味	茶汤颜色	叶底	综合评分
MC	70.4±0.8 <sup>a</sup>	73.8±3.4 <sup>a</sup>	72.4±2.2 <sup>a</sup>	72.0±1.9 <sup>a</sup>	77.4±3.0 <sup>a</sup>	73.2±2.3 <sup>a</sup>
S1	73.4±2.1 <sup>b</sup>	78.8±5.4 <sup>b</sup>	76.8±4.2 <sup>ab</sup>	75.6±1.2 <sup>b</sup>	82.4±2.2 <sup>b</sup>	77.4±3.0 <sup>b</sup>
S2	76.6±2.1 <sup>c</sup>	83.6±3.6 <sup>c</sup>	76.6±4.6 <sup>ab</sup>	82.2±1.6 <sup>c</sup>	82.4±2.2 <sup>b</sup>	80.3±2.8 <sup>bc</sup>
S3	81.4±2.0 <sup>d</sup>	83.4±2.2 <sup>d</sup>	79.4±5.3 <sup>bc</sup>	86.6±2.0 <sup>d</sup>	86.2±1.9 <sup>c</sup>	83.4±2.7 <sup>c</sup>
S4	87.4±2.0 <sup>e</sup>	84.0±3.0 <sup>de</sup>	80.3±6.1 <sup>bc</sup>	90.2±1.0 <sup>e</sup>	90.6±2.3 <sup>d</sup>	86.5±2.9 <sup>cd</sup>
S5	90.8±2.4 <sup>f</sup>	84.8±3.8 <sup>e</sup>	86.6±8.3 <sup>cd</sup>	91.4±2.0 <sup>e</sup>	92.0±2.5 <sup>de</sup>	89.1±3.8 <sup>d</sup>
S6	93.0±2.4 <sup>f</sup>	93.6±3.0 <sup>f</sup>	93.0±2.8 <sup>d</sup>	95.6±1.2 <sup>ef</sup>	94.0±1.7 <sup>ef</sup>	93.6±2.2 <sup>e</sup>

注:表中同列数据不同字母代表渥堆各阶段金花藏茶评分的差异显著,  $P < 0.05$ 。

著减少,与藏茶陈香、糯香、枣香、菌香风味的1,2,3-甲氧基苯以及烯醛类化合物总含量显著增加。感官评定结果显示,只有经过足够时间的渥堆以及干燥后的金花藏茶才能在香气、滋味等各方面达到优秀品质。

金花藏茶香气成分极易受到外界条件影响,如茶叶湿度、茶堆温度、毛茶材料等<sup>[20]</sup>,后续研究可针对不同条件进行探究,结合更高检测精度的气相质谱技术与感官评价,深入解析金花藏茶风味的形成机制,优化生产工艺,为藏茶加工提供理论基础和品质保证。

### 参考文献

- [1] 何靖柳,张恒,袁野,等.雅安藏茶产业现状及发展趋势分析[J].*食品与发酵科技*,2020,56(5):91-96. [HE Jingliu, ZHANG Heng, YUAN Ye, et al. The status and development trend of Ya'an Tibet tea industry[J]. *Food and Fermentation Sciences & Technology*, 2020, 56(5): 91-96.]
- [2] HO C T, ZHENG X, LI S. Tea aroma formation[J]. *Food Science and Human Wellness*, 2015, 4(1): 9-27.
- [3] 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 Shicheng, WANG Mengqi, LIU Chunmei, et al. Analysis of volatile composition and key aroma compounds of Liupao tea[J]. *Food Science*, 2020, 41(20): 191-197.]
- [4] 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 Ting, NI Hui, WU Ling, et al. Analysis of flavor characteristics and volatile compounds of Kangzhuang tea[J]. *Food Science*, 2020, 41(6): 215-221.]
- [5] 赵阳,龔加顺,王秋萍.古树普洱茶生茶贮藏过程中香气成分的变化[J].*食品科学*,2022,43(4):241-248. [ZHAO Yang, GONG Jiashun, WANG Qiuping. Change of aroma components of raw Pu-erh tea from ancient tea plants during storage [J]. *Food Science*, 2022, 43(4):241-248.]
- [6] ZHANG L, CAO Q Q, GRANATO D, et al. Association between chemistry and taste of tea: A review[J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2020, 101: 139-149.
- [7] ZHANG H, WANG J, ZHANG D, et al. Aged fragrance formed during the post-fermentation process of dark tea at an industrial scale[J]. *Food Chemistry*, 2021, 342: 128175.
- [8] DU L, LI J, LI W, et al. Characterization of volatile compounds of pu-erh tea using solid-phase microextraction and simultaneous distillation-extraction coupled with gas chromatography-mass spectrometry[J]. *Food Research International*, 2014, 57: 61-70.
- [9] YANG Z, BALDERMANN S, WATANABE N. Recent studies of the volatile compounds in tea[J]. *Food Research International*, 2013, 53(2): 585-599.
- [10] 何华锋,朱宏凯,董春旺,等.黑茶香气化学研究进展[J].*茶叶科学*,2015,35(2):121-129. [HE Huafeng, ZHU Hongkai, DONG Chunwang, et al. Research progress in flavor chemistry of Chinese dark tea[J]. *Journal of Tea Science*, 2015, 35(2): 121-129.]
- [11] MA W, ZHU Y, SHI J, et al. Insight into the volatile profiles of four types of dark teas obtained from the same dark raw tea material[J]. *Food Chemistry*, 2021, 346: 128906.
- [12] 邓慧莉,李鑫磊,毛贻帆,等.不同做青温度对乌龙茶滋味与香气品质的影响[J].*食品安全质量检测学报*,2021,12(14):5766-5771. [DENG Huili, LI Xinlei, MAO Yifan, et al. Effect of different turning-over temperatures on the taste and aroma quality of oolong tea[J]. *Journal of Food Safety and Quality*, 2021, 12(14): 5766-5771.]
- [13] 刘盼盼,郑鹏程,王胜鹏,等.青砖茶初制、渥堆过程中挥发性风味成分分析[J].*食品与发酵工业*,2017,43(12):176-183. [LIU Panpan, ZHENG pengcheng, WANG shengpeng, et al. Analysis of volatile flavor compounds in Qingzhuang tea[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2017, 43(12): 176-183.]
- [14] 陆晨浩,王曦如,仲梦涵,等.基于GC-MS和电子感官技术分析发芽对黑麦茶风味的影响[J].*食品科学*,2020,41(10):192-197. [LU Chenhao, WANG Xiru, ZHONG Menghan, et al. Analysis of the effect of germination on the flavor of rye tea based on GC-MS and electronic sensory technology[J]. *Food Science*, 2020, 41(10): 192-197.]
- [15] 刘淑娟,何郁菲.嫩栗香型绿茶香气组分主成分分析[J].*湖南农业科学*,2020(1):70-73. [LIU Shujuan, HE Yufei. Analysis of aroma components of green tea with tender chestnut aroma[J]. *Hunan Agricultural Sciences*, 2020(1): 70-73.]
- [16] XIAO Y, ZHONG K, BAI J R, et al. The biochemical characteristics of a novel fermented loose tea by *Eurotium cristatum* (MF800948) and its hypolipidemic activity in a zebrafish model[J]. *LWT*, 2020, 117: 108629.
- [17] HUANG B, WU J, WU X, et al. Analysis of volatile components in Baihaoyinzen white tea co-fermented with vanilla and *Citri grandis* Exocarpium by HS-SPME-GC-MS[J]. *IOP Conference Series Earth and Environmental Science*, 2021, 651(4): 042011.
- [18] 舒心,高彦祥.茶叶挥发性成分提取及其香气特征分析研究进展[J].*食品工业科技*,2022,43(15):469-480. [SHU Xin, GAO Yanxiang. Research progress on extraction of volatile compounds and analysis of aroma characteristics in tea[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2022, 43(15): 469-480.]
- [19] ZHANG W, CAO J, LI Z, et al. HS-SPME and GC/MS volatile component analysis of Yinghong No. 9 dark tea during the pile fermentation process[J]. *Food Chemistry*, 2021, 357: 129654.
- [20] FENG Z, LI Y, LI M, et al. Tea aroma formation from six model manufacturing processes[J]. *Food Chemistry*, 2019, 285: 347-354.