基于 HS-GC-IMS 法研究干燥方式对黑毛茶挥发性风味物质的影响

赵 熙， 余鹏辉， 黄 浩， 钟 妮， 郑红发*
（湖南省农业科学院 茶叶研究所，湖南 长沙 410125）

摘要： 采用顶空-气相色谱-离子迁移谱（headspace-gas chromatography-ion mobility spectrometry，HS-GC-IMS）技术对经烘干干燥和晒干干燥 2 种干燥方式处理的黑毛茶进行挥发性风味物质分析。结果表明，这 2 种干燥方式获得的黑毛茶中共鉴定出挥发性风味物质 65 种，其中醛类 23 种、酯类 13 种、醇类 11 种、酮类 10 种、杂氧化合物 3 种、碳氢化合物 2 种、吡嗪类 2 种、酸类 1 种。HS-GC-IMS 指纹图谱直观地显示出烘干和晒干黑毛茶样品的挥发性风味物质差异。相似度和主成分分析显示每组样品都有其特异性风味物质，晒干黑毛茶会释放出更多特征挥发性物质，且两种干燥方式黑毛茶间相似度较低，不同干燥方式的黑毛茶能够明显区分。该研究为黑毛茶的加工及风味品质调控提供理论依据。

关键词： 顶空-气相色谱-离子迁移谱；黑毛茶；干燥方式；挥发性风味物质
中图分类号：S 571.1　**文章编号：**1673-1689(2022)09-0104-08　**DOI：**10.3969/j.issn. 1673-1689.2022.09.012

Influence of Drying Method on Volatile Flavor Substances of Raw Dark Tea Investigated by HS-GC-IMS

ZHAO Xi， *YU Penghui*， *HUANG Hao*， *ZHONG Ni*， *ZHENG Hongfa**
（Tea Research Institute, Hunan Academy of Agricultural Sciences, Changsha 410125, China）

Abstract: Headspace-gas chromatography-ion mobility spectrometry (HS-GC-IMS) was used to analyze the volatile flavor substances of dried raw dark tea treated with bake drying and sun drying. The results showed that 65 volatile substances were identified in the two drying methods, including 23 aldehydes, 13 esters, 11 alcohols, 10 ketones, 3 heteroxides, 2 hydrocarbons, 2 pyrazines and 1 acid. The HS-GC-IMS fingerprint spectrum visually displayed the differences of volatile flavor between the bake-dried and sun-dried raw dark tea samples. Similarity and principal component analysis showed that each group of samples had their own specific volatile flavor substances, and sun-dried raw dark tea would release more characteristic volatile substances. The similarity between the two drying methods was low, and the raw dark tea dried by different methods were significantly distinguished. This study could provide a theoretical basis for the processing and flavor quality control of raw dark tea.

Keywords: headspace-gas chromatography-ion mobility spectrometry, raw dark tea, drying method, volatile flavor substances

收稿日期： 2021-04-30
基金项目： 长沙市自然科学基金项目(kq2014162)；国家现代农业茶叶产业技术体系项目(CARS-19)。
* **通信作者：** 郑红发(1975—)，男，研究员，主要从事茶叶加工与品质化学研究。E-mail：zhenghongfa11@163.com

黑茶是我国六大茶类之一,也是重要的特色茶类,2020 年全国黑茶产量达 37.3 万 t,占全国茶叶总产量的 12.50%。黑毛茶是指没有经过压制的黑茶,也是用来加工茯砖茶、黑砖茶、青砖茶等紧压黑茶的原料,其品质的好坏直接影响到紧压黑茶产品的质量。香气和滋味是构成黑毛茶特征风味品质的两个重要因素,黑毛茶的特殊香气是适度渥堆的茶坯在干燥过程中形成的,目前生产上通常采用晒干和烘干两种方式进行干燥,不同干燥方式生产出的黑毛茶风味品质具有一定的差异。黑毛茶的特征挥发性风味物质不仅是重要的感官指标之一,而且是影响黑毛茶品质和加工特性的重要因素。因此,明确黑毛茶风味品质并开展不同干燥方式下黑毛茶特征挥发性风味物质差异研究,不仅可为探明黑毛茶风味品质形成机理奠定基础,而且对黑毛茶加工工艺优化和产品品质提升具有积极意义。

HS-GC-IMS 是近年来出现的一种新兴气相分离检测技术,该技术采取顶空进样方式,根据气相离子迁移率对化合物进行表征,具有高灵敏度、高分辨率、分析速度快等优点[1],目前在食品特征风味、快速鉴别和产地溯源等方面得到了广泛应用[2-10],而将 HS-GC-IMS 用于黑毛茶挥发性风味物质的分析研究尚未见报道。

采用 HS-GC-IMS 技术对烘干和晒干处理的黑毛茶进行挥发性风味物质的组成鉴定,分析不同干燥方式对黑毛茶挥发性风味物质的影响,并运用主成分分析(principal component analysis,PCA)和相似度分析探究不同干燥方式处理的黑毛茶样品间的相关性与差异性,以期为黑毛茶风味品质的调控提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

选用湖南省安化县云台山八角茶厂 2020 年夏季储叶齐茶树品种,采摘 1 芽 3、4 叶或同等嫩度对夹叶进行黑毛茶加工。

2-丁酮、2-戊酮、2-己酮、2-庚酮、2-辛酮、2-壬酮(均为分析纯):北京国药集团化学试剂有限公司产品。

1.2 主要仪器与设备

6CST-80 型茶叶杀青机、6CR-50 型茶叶揉捻机:浙江上洋机械有限公司产品;JY-6CHZ-7B 型茶叶烘焙提香机:福建佳友机械有限公司产品;FW80-50 g 万能粉碎机:天津泰斯特仪器有限公司产品;HS-GC-IMS FlavourSpec® 风味分析仪:德国 Gesellschaft für analytische Sensorsy-steme mbH 公司产品。

1.3 方法

1.3.1 样品制备 根据加工工艺流程制成黑毛茶样品,鲜叶(1 芽 3、4 叶或同等嫩度对夹叶)→摊青(时间 12 h)→杀青(温度 260~280 ℃)→揉捻(轻压 5 min,中压 5 min,松压 5 min)→渥堆(堆高 1 m,时间 12 h),然后分别进行烘焙提香机烘干和自然日晒处理至水分含量达 10%(质量分数)以下。烘干黑毛茶样品为 Z1,晒干黑毛茶样品为 Z2。将制成的黑毛茶粉碎后过 40 目筛,保存于-20 ℃冰箱中备用。

1.3.2 干燥工艺参数 烘干:温度为 90 ℃,烘盘托架回转转速 5 r/min,时间 90 min;晒干:在阳光棚中进行,温度 20~35 ℃。

1.3.3 HS-GC-IMS 分析 进样方式:自动顶空进样;孵化温度:60 ℃;孵化时间:10 min;孵化转速:500 r/min;进样针温度:85 ℃;进样量:500 μL。

GC-IMS 条件:FS-SE-54-CB-1 毛细管柱(15 m×0.53 mm);分析时间:45 min;色谱柱温度:60 ℃;IMS 探测器温度:45 ℃;载气和漂移气为 N_2,纯度≥99.999%。气相色谱条件见表 1。

表 1 气相色谱条件

Table 1 Gas chromatographic conditions

时间/min	漂移气流量/(mL/min)	载气流量/(mL/min)	信号采集
0	150	2	开始
2	150	2	—
10	150	10	—
20	150	100	—
30	150	150	结束

1.4 数据处理

采用仪器配置的 VOCal 软件,将化合物的气相保留指数和相对迁移时间与 GC-IMS Library Search 软件内置的 NIST 数据库和 IMS 数据库进行匹配对物质进行定性分析。化合物保留指数计算方法:采用和样品相同的气相条件测试正构酮类(C_4~C_9)校准液,建立保留指数(已知)和保留时间的校准曲线,对于未知物质,通过其保留时间(t)计算相应的保留指数(RI)。公式为 $RI=RI(z)+[RI(z+1)-RI(z)]\times$

[lg $t(x)$−lg $t(z)$]/[lg $t(z+1)$−lg $t(z)$],其中 z 和$z+1$ 分别为目标化合物(x)流出前后的正构烷烃(正构酮)所含碳原子的数目。Reporter 插件：通过二维俯视图、三维谱图直观对比不同干燥处理黑毛茶样品之间的谱图差异;Gallery Plot 插件：对不同干燥处理黑毛茶样品之间的挥发性成分差异进行定量分析;Dynamic PCA 插件：进行不同干燥处理黑毛茶样品动态主成分分析和相似度分析。

2 结果与分析

2.1 不同干燥方式黑毛茶中挥发性化合物谱图分析

不同干燥方式处理的黑毛茶 GC-IMS 谱图见图 1 和图 2。其中,图 1 为不同干燥方式黑毛茶挥发性成分三维对比图谱,图 2 为不同干燥方式黑毛茶二维对比图谱。图 2 的红色垂直线为反应离子峰(reaction ion peak,RIP)[11-13]。结果表明,GC-IMS 技术可使不同干燥方式黑毛茶样品的挥发性成分得到较好的分离检测,RIP 右侧红色点的数量对应挥发性成分的种类,颜色深浅与挥发性物质的含量呈正相关的关系,颜色越深,表明含量越高,反之颜色越浅,表明含量越低[14-15]。从图中可以看出,不同干燥方式处理的黑毛茶挥发性风味物质的相对迁移时间大都集中在 1.0~1.8 ms 区间内,保留时间基本为 100~800 s。不同处理之间挥发性物质的组成差别不大,而同一化合物在不同干燥方式黑毛茶中的含量存在较大差异,具有各自的特征谱信息。

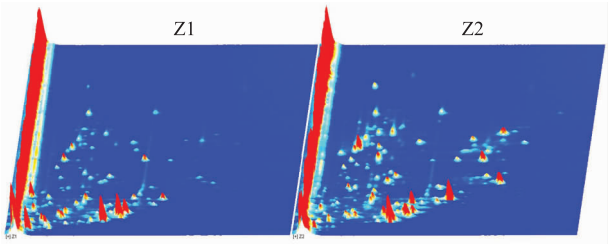


图 1 不同干燥方式黑毛茶中挥发性化合物气相-离子迁移三维谱图

Fig. 1 GC-IMS 3D topographic of volatile compounds in raw dark tea dried by different methods

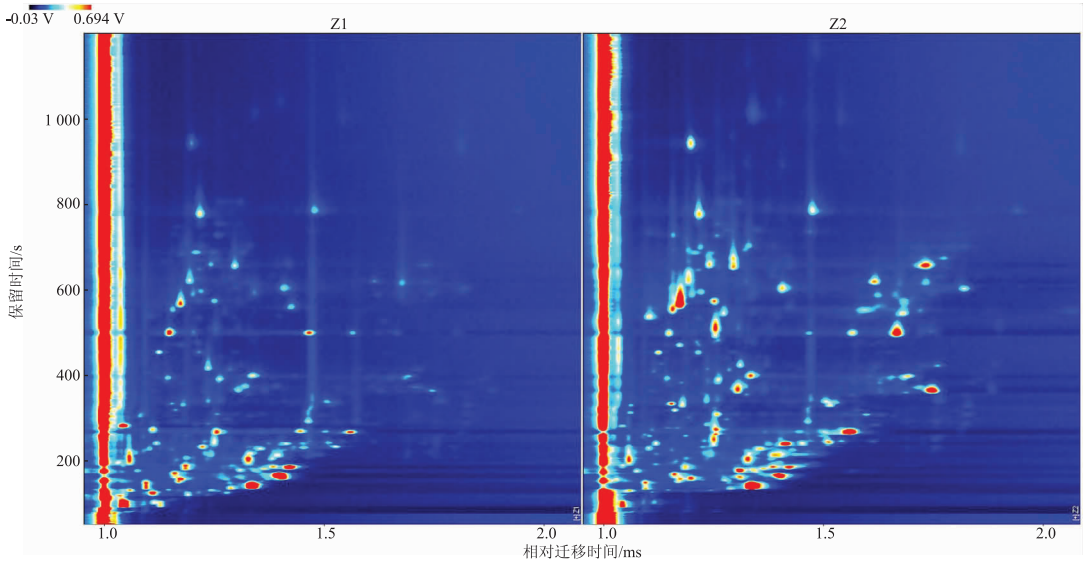


图 2 不同干燥方式黑毛茶中挥发性化合物气相-离子迁移二维谱图

Fig. 2 GC-IMS 2D topographic of volatile compounds in raw dark tea dried by different methods

2.2 不同干燥方式黑毛茶中挥发性化合物定性分析

通过比较不同干燥方式黑毛茶挥发性风味成分的保留时间和迁移时间,计算挥发性物质的保留指数,在 NIST 2014 数据库和 IMS 迁移时间数据库进行匹配,从而对挥发性风味物质进行定性分析。2 种黑毛茶样品共检出挥发性物质 65 种,包括 23 种醛类化合物、13 种酯类化合物、11 种醇类化合物、10 种酮类化合物、3 种杂氧化合物、2 种碳氢化合物、2 种吡嗪类化合物、1 种酸类化合物(见表 2)。其中有些化合物同时检测出单体和二聚体,保留时间相近,但迁移时间不同[16]。

两个不同干燥方式黑毛茶中挥发性风味物质质量分数略有区别。如图 3 所示,烘干黑毛茶中醛类为 41.57%,醇类为 21.19%,酯类为 19.48%,酮类

为 13.10%,杂氧化合物为 3.54%,碳氢化合物为 0.70%,酸类为 0.22%,吡嗪类为 0.20%;晒干黑毛茶中醛类为 40.75%,酯类为 22.55%,酮类为 15.63%,醇类为 11.75%,杂氧化合物为 7.66%,碳氢化合物为 0.68%,酸类为 0.34%,吡嗪类为 0.64%(均为质量分数)。从鉴定出的香气组分来看,不同干燥方式的黑毛茶化合物种类具有一定差异,烘干黑毛茶以醛类和醇类化合物为主,质量分数分别达到 41.57%和 21.19%;晒干黑毛茶以醛类和酯类化合物为主,质量分数分别达到 40.75%和 22.55%,醇类仅为 11.75%。

表 2 黑毛茶中挥发性化合物的定性

Table 2 Qualitative identification of volatile compounds in raw dark tea

序号	英文名称	中文名称	分子式	相对分子质量	保留指数	保留时间/s	迁移时间/ms
1	furfural	糠醛	$C_5H_4O_2$	96.1	823.7	309.401	1.083 86
2	benzaldehyde (D)	苯甲醛	C_7H_6O	106.1	954.3	501.799	1.465 14
3	benzaldehyde (M)	苯甲醛	C_7H_6O	106.1	954.3	501.799	1.149 95
4	pentanal (D)	戊醛	$C_5H_{10}O$	86.1	693.2	190.274	1.423 87
5	pentanal (M)	戊醛	$C_5H_{10}O$	86.1	694.8	191.580	1.187 17
6	2-methylbutanal (D)	2-甲基丁醛	$C_5H_{10}O$	86.1	650.7	169.688	1.397 75
7	2-methylbutanal (M)	2-甲基丁醛	$C_5H_{10}O$	86.1	661.5	174.499	1.162 67
8	(*E*, *E*)-2,4-nonadienal	(反,反)-2,4-壬二烯醛	$C_9H_{14}O$	138.2	1 220.7	1 012.269	1.342 65
9	heptanal (M)	庚醛	$C_7H_{14}O$	114.2	900.1	402.337	1.333 69
10	heptanal (D)	庚醛	$C_7H_{14}O$	114.2	900.5	403.115	1.694 11
11	octanal (M)	辛醛	$C_8H_{16}O$	128.2	1 011.1	607.477	1.407 19
12	octanal (D)	辛醛	$C_8H_{16}O$	128.2	1 010.3	605.922	1.825 55
13	*n*-nonanal (M)	壬醛	$C_9H_{18}O$	142.2	1 104.9	788.670	1.473 26
14	*n*-nonanal (D)	壬醛	$C_9H_{18}O$	142.2	1 103.0	784.942	1.942 13
15	hexanal	正己醛	$C_6H_{12}O$	100.2	792.3	273.490	1.559 00
16	(*E*,*E*)-2,4-heptadienal (M)	庚二烯醛	$C_7H_{10}O$	110.2	1 019.9	624.571	1.193 76
17	(*E*,*E*)-2,4-heptadienal(D)	庚二烯醛	$C_7H_{10}O$	110.2	1 018.7	622.247	1.616 34
18	(*E*)-2-pentenal (M)	反-2-戊烯醛	C_5H_8O	84.1	743.8	231.384	1.104 39
19	(*E*)-2-pentenal (D)	反-2-戊烯醛	C_5H_8O	84.1	744.8	232.233	1.358 24
20	(*E*)-2-hexenal (M)	反-2-己烯醛	$C_6H_{10}O$	98.1	845.4	334.295	1.180 18
21	(*E*)-2-hexenal (D)	反-2-己烯醛	$C_6H_{10}O$	98.1	845.4	334.295	1.515 71
22	(*E*)-2-heptenal (D)	反-2-庚烯醛	$C_7H_{12}O$	112.2	956.2	505.304	1.255 54
23	(*E*)-2-heptenal (M)	反-2-庚烯醛	$C_7H_{12}O$	112.2	954.3	501.819	1.668 71
24	ethyl hexanoate	正己酸乙酯	$C_4H_{16}O_2$	144.2	1 005.9	597.547	1.341 69
25	ethyl acetate	乙酸乙酯	$C_4H_8O_2$	88.1	597.6	146.111	1.339 81
26	butyl acetate (M)	乙酸丁酯	$C_6H_{12}O_2$	116.2	806.4	289.684	1.235 76
27	butyl acetate (D)	乙酸丁酯	$C_6H_{12}O_2$	116.2	805.7	288.835	1.618 02
28	methyl hexanoate	己酸甲酯	$C_7H_{14}O_2$	130.2	907.5	415.947	1.285 01
29	isoamyl acetate (M)	乙酸异戊酯	$C_7H_{14}O_2$	130.2	877.6	371.060	1.305 25
30	isoamyl acetate (D)	乙酸异戊酯	$C_7H_{14}O_2$	130.2	875.1	368.232	1.749 02
31	isobutyl acetate	乙酸异丁酯	$C_6H_{12}O_2$	116.2	766.0	249.443	1.610 18
32	amyl acetate (D)	乙酸戊酯	$C_7H_{14}O_2$	130.2	912.8	425.714	1.760 99
33	amyl acetate (M)	乙酸戊酯	$C_7H_{14}O_2$	130.2	913.9	427.608	1.309 99
34	ethyl 3-methylbutanoate	异戊酸乙酯	$C_7H_{14}O_2$	130.2	826.7	312.894	1.257 93
35	ethyl 2-methylbutyrate	2-甲基丁酸乙酯	$C_7H_{14}O_2$	130.2	855.0	345.271	1.233 75

续表 2

序号	英文名称	中文名称	分子式	相对分子质量	保留指数	保留时间/s	迁移时间/ms
36	methyl salicylate	水杨酸甲酯	$C_8H_8O_3$	152.1	1 186.0	945.222	1.197 87
37	1-propanol	正丙醇	C_3H_8O	60.1	562.7	130.622	1.112 52
38	ethanol	乙醇	C_2H_6O	46.1	501.6	103.517	1.044 12
39	linalool	芳樟醇	$C_{10}H_{18}O$	154.3	1 101.7	782.422	1.217 40
40	1-pentanol (M)	1-戊醇	$C_5H_{12}O$	88.1	764.3	248.063	1.249 37
41	1-pentanol (D)	1-戊醇	$C_5H_{12}O$	88.1	765.6	249.114	1.509 84
42	5-methyl-2-furanMethanol	5-甲基-2-呋喃甲醇	$C_6H_8O_2$	112.1	955.2	503.532	1.564 64
43	(*E*)-2-hexen-1-ol	反-2-己烯-1-醇	$C_6H_{12}O$	100.2	891.7	387.249	1.178 08
44	1-octen-3-ol	1-辛烯-3-醇	$C_8H_{16}O$	128.2	985.3	558.823	1.157 61
45	2-butoxyethanol	2-丁氧基乙醇	$C_6H_{14}O_2$	118.2	910.3	421.004	1.234 68
46	*trans*-linaloloxide	反-α,α-5-三甲基-5-乙烯基四氢化-2-呋喃甲醇	$C_{10}H_{18}O_2$	170.3	1 089.4	758.650	1.257 83
47	*cis*-linalool oxide	顺式芳樟醇氧化物	$C_{10}H_{18}O_2$	170.3	1073.4	727.844	1.259 87
48	maltol	3-羟基-2-甲基-4-吡喃酮	$C_6H_6O_3$	126.1	1054.3	691.034	1.208 46
49	2-butanone (D)	2-丁酮	C_4H_8O	72.1	575.7	136.391	1.244 69
50	2-butanone (M)	2-丁酮	C_4H_8O	72.1	575.7	136.391	1.059 43
51	3-hydroxy-2-butanone (M)	3-羟基-2-丁酮	$C_4H_8O_2$	88.1	713.5	206.736	1.057 39
52	3-hydroxy-2-butanone (D)	3-羟基-2-丁酮	$C_4H_8O_2$	88.1	715.1	208.043	1.330 22
53	2-heptanone	2-庚酮	$C_7H_{14}O$	114.2	894.9	392.744	1.262 96
54	2-hexanone	2-己酮	$C_6H_{12}O$	100.2	782.3	262.719	1.188 34
55	1-octen-3-one (D)	1-辛烯-3-酮	$C_8H_{14}O$	126.2	979.2	547.644	1.681 39
56	1-octen-3-one (M)	1-辛烯-3-酮	$C_8H_{14}O$	126.2	980.5	549.975	1.272 91
57	6-methyl-5-hepten-2-one	6-甲基-5-庚烯-2-酮	$C_8H_{14}O$	126.2	992.1	571.307	1.176 16
58	α-phellandrene	α-水芹烯	$C_{10}H_{16}$	136.2	1 006.1	597.830	1.220 42
59	α-pinene	α-蒎烯	$C_{10}H_{16}$	136.2	930.3	457.876	1.218 74
60	2,3,5-trimethylpyrazine	2,3,5-三甲基吡嗪	$C_7H_{10}N_2$	122.2	1 002.5	590.904	1.624 26
61	2,5-dimethylpyrazine	2,5-二甲基吡嗪	$C_6H_8N_2$	108.1	905.5	412.247	1.116 08
62	1,8-cineole (M)	1,8-环氧对孟烷	$C_{10}H_{18}O$	154.3	1 041.6	666.532	1.298 35
63	1,8-cineole (D)	1,8-环氧对孟烷	$C_{10}H_{18}O$	154.3	1 037.2	657.984	1.733 68
64	2-pentylfuran	2-正戊基呋喃	$C_9H_{14}O$	138.2	995.3	577.122	1.252 79
65	butyric acid	丁酸	$C_4H_8O_2$	88.1	835.6	323.115	1.164 25

注:M 表示为单体,D 表示为二聚体。

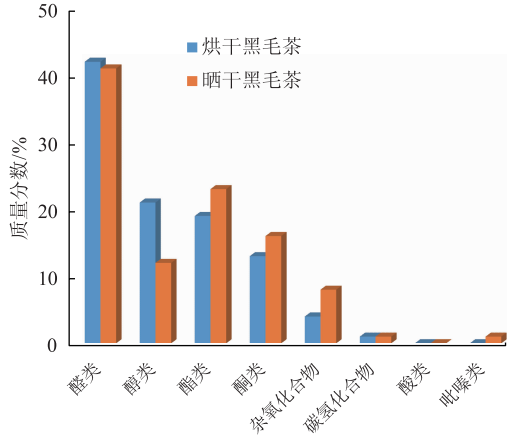
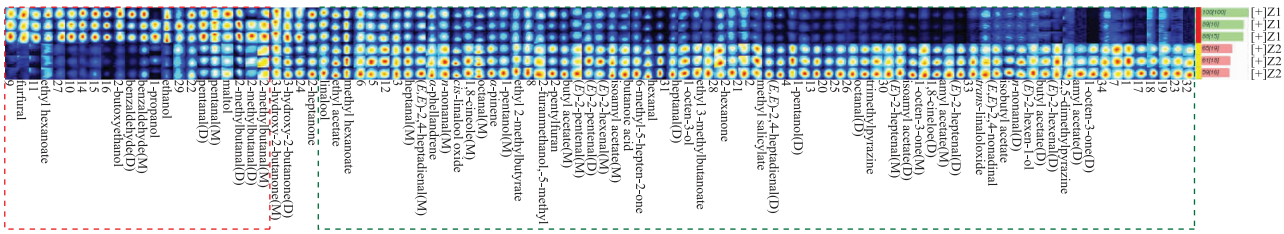


图 3　不同干燥方式黑毛茶主要挥发性成分质量分数对比

Fig. 3　Comparison of the mass fraction of main volatile components in raw dark tea dried by different methods

2.3　不同干燥方式黑毛茶中挥发性成分的指纹图谱分析

指纹图谱的优点在于能够直观比较不同样品之间挥发性化合物的差异。图 4 中每一列代表一种挥发性化合物，前 3 行代表烘干黑毛茶样品中含有的挥发性化合物，后 3 行代表晒干黑毛茶中含有的挥发性化合物。图谱中点的颜色深浅与挥发性化合物含量正相关，颜色越红亮，说明挥发性化合物含量越高，反之含量越低。结果表明，烘干黑毛茶与晒干黑毛茶样品间差异显著，红色框中 2-丁酮、2-甲基丁醛、3-羟基-2-甲基-4-吡喃酮、戊醛等 13 种风味化合物含量较高，为烘干黑毛茶中特征风味物质；绿色框中壬醛、正己醛、庚二烯醛、乙酸乙酯等 48 种风味化合物含量较高，为晒干黑毛茶中特征风味物质；红框和绿框之间为烘干黑毛茶和晒干黑毛茶共同含有的 2-庚酮、3-羟基-2-丁酮、2-甲基丁醛等物质。



绿色标识表示相似度大于 85，红色标识表示相似度小于 85；Z 表示样品。

图 4　不同干燥方式黑毛茶挥发性物质指纹图谱

Fig. 4　Fingerprint of volatile components in raw dark tea dried by different methods

2.4　不同干燥方式黑毛茶挥发性化合物的主成分分析和样品相似度分析

使用 Dynamic PCA 插件针对不同干燥方式处理的黑毛茶样品挥发性化合物数据进行了可视化处理，并对两种样品中的挥发性物质组成进行主成分分析和样品相似度分析（见图 5、图 6）。PCA 图中距离越近的点代表样品越相近，代表样品间相似度的欧氏距离越小，样品间相似度越高。结果表明，第一主成分 PC1 贡献率为 91%，第二主成分 PC2 贡献率为 4%，第一主成分和第二主成分的累计贡献率为 95%，表明 PC1、PC2 的总贡献率包含了黑毛茶样品的大部分信息，能代表黑毛茶样品挥发性风味的主要特征，且从图 5 和表 3 中可以看出，烘干黑毛茶和晒干黑毛茶样品间欧氏距离较大，相似度较低，可以实现较好的区分，证明样本的特征风味物质具有明显差异。主成分分析图中红色圆点为烘干黑毛茶样品，样本间聚集度较好；黄色圆点为晒干黑毛茶样品，样本间聚集度较均匀。可见，GC-IMS 技术可对不同干燥方式的黑毛茶进行区分，探索不同干燥方式样品的特性。



图 5　不同干燥方式黑毛茶相似度图

Fig. 5　Similarity map of raw dark tea dried by different methods

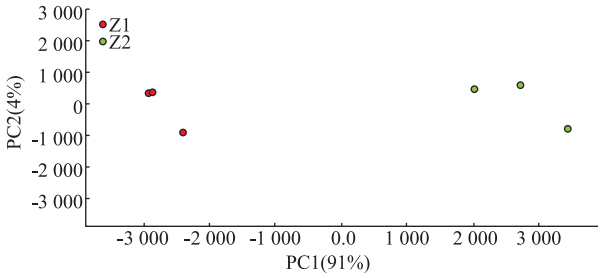


图 6　不同干燥方式黑毛茶 PCA 分析图

Fig. 6　PCA analysis diagram of raw dark tea dried by different methods

表 3　样品间欧氏距离

Table 3　Euclidean distance between samples

样品	欧氏距离					
	Z1-1	Z1-2	Z1-3	Z2-1	Z2-2	Z2-3
Z1-1	0	1.27×10^{6}	1.68×10^{6}	1.05×10^{7}	1.33×10^{7}	1.70×10^{7}
Z1-2	1.27×10^{6}	0	2.82×10^{5}	1.18×10^{7}	1.45×10^{7}	1.96×10^{7}
Z1-3	1.68×10^{6}	2.82×10^{5}	0	1.28×10^{7}	1.52×10^{7}	2.02×10^{7}
Z2-1	1.05×10^{7}	1.18×10^{7}	1.28×10^{7}	0	5.72×10^{5}	2.25×10^{6}
Z2-2	1.33×10^{7}	1.45×10^{7}	1.52×10^{7}	5.72×10^{5}	0	1.35×10^{6}
Z2-3	1.70×10^{7}	1.96×10^{7}	2.02×10^{7}	2.25×10^{6}	1.35×10^{6}	0

3 结　语

采用 HS-GC-IMS 分析技术检测了烘干黑毛茶和晒干黑毛茶的挥发性风味物质，共鉴定出 65 种化合物，主要包括醛类、醇类、酯类、酮类、杂氧类、碳氢化合物类、酸类、吡嗪类等成分。通过构建黑毛茶 HS-GC-IMS 风味指纹图谱，明确了不同干燥方式黑毛茶的特征风味物质。进行相似度和主成分分析，烘干黑毛茶和晒干黑毛茶样品得到了较好区分。HS-GC-IMS 分析技术具有简单、快速、无损等特点，可为黑毛茶挥发性风味物质分析及不同干燥方式的黑毛茶风味品质评价和工艺优化提供理论依据和技术支持。

参考文献：

[1] LIU D,BAI L,FENG X ,et al. Characterization of Jinhua ham aroma profiles in specific to aging time by gas chromatography-ion mobility spectrometry(GC-IMS)[J]. **Meat Science**,2020,168:1-7.

[2] YANG L,LIU J,WANG X,et al. Characterization of volatile component changes in jujube fruits during cold storage by using headspace-gas chromatography-ion mobility spectrometry[J]. **Molecules**,2019,24(21):1-21.

[3] 肖冬来,张迪,黄小菁,等. 香菇挥发性风味成分的气相色谱 - 离子迁移谱分析[J]. 福建农业学报,2018,33(3):309-312.

[4] 李淑静,赵婷,葛含光,等. 气相色谱 - 离子迁移谱应用于橄榄油的掺假鉴别[J]. 食品研究与开发,2018,39(15):109-116.

[5] 杜萍,陈振佳,杨芳,等. 基于顶空气相色谱 - 离子迁移谱技术的生咖啡豆快速鉴别方法[J]. 食品科学,2019,40(24):228-233.

[6] 蒙秋霞,张丽珍,李阳,等. 不同产地“玉露香”梨品质及香气物质分析[J]. 中国果树,2020(3):28-33,143.

[7] 陈通,吴志远,王正云,等. 基于气相离子迁移谱和化学计量学方法判别肉的种类[J]. 中国食品学报,2019,19(7):221-226.

[8] 李淑静,赵婷,葛含光,等. 气相色谱 - 离子迁移谱应用于橄榄油的掺假鉴别[J]. 食品研究与开发,2018,39(15):109-116.

[9] GERHARDT N,BIRKENMEIER M,SCHWOLOW S,et al. Volatile-compound fingerprinting by headspace-gas-chromatography ionmobility spectrometry(HS-GC-IMS) as a benchtop alternative to ^{1}H NMR profiling for assessment of the authenticity of honey

[J]. **Analytical Chemistry**,2018,90(3):1777-1785.
[10] 祁兴普,陈通,刘萍,等. 基于气相离子迁移谱黄酒产地识别的研究[J]. 食品工业科技,2019,40(22):273-276,281.
[11] RODRIGUEZ M R,VYHMEISTER E,MEISEN S,et al. Identification of terpenes and essential oils by means of static headspace gas chromatography-ion mobility spectrometry[J]. **Analytical and Bioanalytical Chemistry**,2017,409(28):6595-6603.
[12] 周晨曦,郑福平,孙宝国. 离子迁移谱技术在食品风味分析中应用的研究进展[J]. 食品工业科技,2019,40(18):309-318.
[13] 王辉,田寒友,李文采,等. 基于顶空气相色谱 - 离子迁移谱技术的冷冻猪肉贮藏时间快速判别方法[J]. 食品科学,2019,40(2):269-274.
[14] HERNANDEZ-MESA M,ROPARTZ D,GARCIA-CAMPANAA M,et al. Ion mobility spectrometry in food analysis:principles,current applications and future trends[J]. **Molecules**,2019,24(15):1-28.
[15] SUN X,GU D Y,FU Q B,et al. Content variations in compositions and volatile component in jujube fruits during the blacking process[J]. **Food Science and Nutrition**,2019,7(4):1387-1395.
[16] LI M,YANG R,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.

科 技 信 息

科研人员发明新型纳米荧光探针并成功应用于大蒜素功效机制研究

近日,中国农业科学院农业质量标准与检测技术研究所联合北京化工大学,发明了一种新型 DNA 四面体纳米荧光探针,并成功应用于大蒜素对机体氧化还原水平的调控能力及机制研究。相关成果发表在《今日纳米》,并获得了国家发明专利授权。

大蒜素是由大蒜中的蒜氨酸酶催化蒜氨酸,经分解而形成的一种有机硫化合物,因其独特的化学结构,具有调控生物体氧化还原作用的营养活性。

该研究以分子模拟工具为手段,创新设计了双通道 DNA 四面体纳米荧光探针,通过体内和体外成像,阐释大蒜素调控氧化还原水平作用机制。该探针具有高灵敏度和特异性,可有效进入细胞核,评估其中活性氧 ROS 及活性酶 APE1 的表达。研究结果显示,ROS 升高会导致 APE1 过表达,表明大蒜素能够有效保护细胞免受氧化刺激。

该研究构建的纳米荧光探针,可在活细胞和实验动物中成像多个目标,用于深入了解活细胞及活体中的分子相互作用机制,同时也为大蒜素的功效研究与创新研发、产品加工与开发提供了理论基础和重要技术手段。

[信息来源] 中国农业科学院饲料研究所. 科研人员发明新型纳米荧光探针并成功应用于大蒜素功效机制研究[EB/OL]. (2022-8-19).https://www.caas.cn/xwzx/kyjz/322267.html