

DOI: 10.13652/j.spjx.1003.5788.2022.90053

不同品种及产地鲜天麻挥发性物质差异性分析

Differential analysis of volatile substances in fresh *Gastrodia elata* from different varieties and origin

孙海燕^{1,2,3,4,5} 郝丹青¹ 李新生^{1,2} 金文刚¹

SUN Hai-yan^{1,2,3,4,5} HAO Dan-qing¹ LI Xin-sheng^{1,2} JIN Wen-gang¹

(1. 陕西理工大学生物科学与工程学院, 陕西 汉中 723000; 2. 陕西理工大学陕西省资源生物重点实验室, 陕西 汉中 723000; 3. 国家农产品保鲜工程技术研究中心秦巴地区保鲜工作站, 陕西 汉中 723000; 4. 陕南秦巴山区生物资源综合开发协同创新中心, 陕西 汉中 723000; 5. 陕西理工大学秦巴生物资源与生态环境省部共建国家重点实验室[培育], 陕西 汉中 723000)

(1. Biological Science and Engineering, Shaanxi University of Technology, Hanzhong, Shaanxi 723000, China; 2. Shaanxi University of Technology, Shaanxi Key Laboratory of Resource Biology, Hanzhong, Shaanxi 723000, China; 3. National Engineering Research Center for Preservation of Agricultural Products in Qinba Area Preservation Workstation, Hanzhong, Shaanxi 723000, China; 4. Qinling-Bashan Mountains Bioresources Comprehensive Development C. I. C., Hanzhong, Shaanxi 723000, China; 5. Qinba State Key Laboratory of Biological Resources and Ecological Environment, Hanzhong, Shaanxi 723000, China)

摘要:目的:分析不同品种和不同产地鲜天麻中挥发性化合物的差异。方法:采用气相—离子迁移色谱(GC-IMS)技术对 6 个产地、3 个品种的鲜天麻挥发性物质成分进行测定,利用 VOCal 和 Reporter、Gallery Plot 和 Dynamic PCA 三款插件及“最近邻”指纹分析,分别从不同角度对样品进行定量定性分析。结果:研究共检出 75 种挥发性化合物,其中可以鉴定出的物质 45 种,包括 16 种醛类、9 种酯类、6 种醇类、5 种酮类和 3 种酸类物质。采用主成分分析能够有效区分不同品种鲜天麻样品,但对不同产地鲜天麻区分有效性差。结论:GC-IMS 可以实现对不同品种鲜天麻样品挥发性化合物的差异进行快速分析。

关键词:气相—离子迁移色谱;天麻;挥发性物质;主成分分析;聚类分析

Abstract: Objective: This study aimed to analyze the differences of volatile compounds among fresh *Gastrodia elata* of different varieties and origins. **Methods:** Volatile components of fresh *G. elata* from six origin and three varieties were analyzed by gas chromatography-ion mobility spectrometry (GC-IMS)

基金项目:陕西省 2011 协同中心项目(编号:QBXT-18-5);陕西省资源生物重点实验室后补助项目(编号:2018SZS-27-04);陕西理工大学人才启动项目(编号:SLGRCQD2029)

作者简介:孙海燕(1979—),女,陕西理工大学副教授,博士。
E-mail:diyson2008@163.com

收稿日期:2021-07-24

technology, and quantified and qualitatively from different angles using VOCal and Reporter, Gallery Plot and Dynamic PCA inserts and "nearest neighbor" fingerprint analysis. **Results:** In this study, a total of 75 kinds of volatile compounds were detected. Among them, 45 kinds of compounds were identified, including 16 aldehydes, 9 esters, 6 alcohols, 5 ketones and 3 acids. Principal component analysis (PCA) was used to effectively distinguish different varieties of fresh *G. elata*. However, it was not sensitive enough to distinguish the *G. elata* from different origins. **Conclusion:** GC-IMS can be used to quickly analyze the differences of volatile compounds in different varieties of fresh *G. elata*.

Keywords: gas chromatography-ion mobility spectrometry (GC-IMS); *Gastrodia elata* BI; volatile components; principal component analysis; cluster analysis

天麻又名定风草、神草、赤箭、独摇芝等,在中国云南、贵州、陕西、湖北、四川等地被广泛栽培^[1-2]。2020 年 1 月 2 日,国家卫健委、国家市场监督管理总局发布《关于对党参等 9 种物质开展按照传统既是食品又是中药材的物质管理试点工作的通知》中,将天麻、党参等 9 种物质列入药食同源物质生产经营试点中,这一决定有望刺激和带动中国天麻产业的快速发展,尤其鲜天麻的相关研究。

鲜天麻自身具有特殊的香味,不同品种、采收期的天麻香气浓郁程度有所区别。目前测定天麻中挥发性香气

物质成分普遍采用电子鼻、气质色谱—质谱联用技术等。气相—离子迁移色谱(GC-IMS)法结合了气相色谱高分离度和离子迁移谱高灵敏度的优势,无需任何特殊的样品前处理,即可快速检测样品中的痕量挥发性有机物^[3],该仪器已被广泛应用于食品风味分析^[4-5]、真伪鉴别^[6-7]和新鲜度分析^[8]中,也可用于非法药物的痕量检测^[9]及人呼出气体挥发性有机化合物^[10-11]和人类皮肤释放挥发性化合物^[12-13]的监测和疾病判别^[14-15]中等。但在鲜天麻挥发性物质测定中未见气相色谱—离子迁移谱联用(GC-IMS)技术的相关研究报道。研究拟利用 GC-IMS 技术对 6 个产地、3 个品种的鲜天麻挥发性物质成分进行测定分析,以期为后续鲜天麻的快速分类区分提供研究基础。

1 材料和方法

1.1 材料和仪器

1.1.1 材料

天麻(如表 1 所示):采收时间集中在 11~12 月份,种植时间约 10 个月。当天采挖后,低温迅速邮寄实验室进行挥发性物质测定。

1.1.2 仪器

气相色谱—离子迁移色谱:FlavourSpec 型,德国 GAS 公司。

1.2 样品处理

取新鲜天麻,洗去表面泥沙与附着的蜜环菌,切成尽量小的碎末,取 7 g 天麻样品,置于 20 mL 顶空进样瓶中密封,顶空进样。每种样品重复测定 3 次。

1.3 GC-IMS 条件

1.3.1 气相—离子迁移谱单元 分析时间 20 min,色谱柱类型 MXT-5, 15 mL, 0.53 mm 内径(ID), 1 μm 膜厚(FT),柱温 60 °C,IMS 温度 45 °C,载气/漂移气为 N₂。

1.3.2 自动顶空进样单元 孵育温度 60 °C,孵育时间 15 min 后进样,进样体积 500 μL,进样针温度 85 °C,孵化转速 500 r/min。

1.3.3 气相色谱条件 如表 2 所示。

表 1 天麻品种产地

Table 1 Variety and origin of *Gastrodia elata*

编号	品种	产地
T1	红天麻	贵州大方县
T2	乌天麻	贵州大方县
T3	乌天麻	云南昭通彝良县
T4	红天麻	湖北宜昌夷陵区
T5	杂交天麻	陕西省商洛市丹凤县
T6	红天麻	陕西省汉中市略阳县
T7	乌天麻	湖北宜昌夷陵区
T8	红天麻	甘肃省陇南市康县

表 2 气相色谱条件^[15]

Table 2 Chromatographic conditions

检测时间/ min	迁移气流量/ (mL·min ⁻¹)	载气流量/ (mL·min ⁻¹)	数据采集 状态
0	150	2	开始
2	150	2	—
20	150	100	结束

1.4 数据处理

利用仪器配套的分析软件,包括 VOCal 和 Reporter、Gallery Plot 和 Dynamic PCA 三款插件及“最近邻”指纹分析,分别从不同角度进行样品分析。

2 结果与分析

2.1 样品中挥发性物质成分对比

利用 Reporter 插件制作鲜天麻中挥发性有机物质的二维俯视图(见图 1),红色的 RIP 峰两边不同颜色的小点代表检测到的不同的挥发性有机物。不同颜色代表鲜天麻中检测到的不同挥发性物质的浓度不同,其中白色表示检测到的挥发性物质浓度较低,红色表示检测到的挥发性物质浓度较高,而且颜色越深表示该挥发性物质的浓度越大。其背景颜色为蓝色,横坐标 1.0 处的红色竖线即为图 1 中的 RIP 峰(反应离子峰,经归一化处理),根据峰两侧点的颜色有无或者深浅可以阐明不同鲜天麻样品之间的挥发性物质组分及浓度的差异。

由图 1 和图 2 可以看出,乌天麻所含挥发性物质种类和浓度明显比红天麻多,而相同品种之间鲜天麻的挥发性物质种类和浓度之间相差不大。说明天麻品种对挥发性物质的检测结果起主要作用,而且乌天麻的挥发性物质种类和浓度较红天麻多和高,也从侧面说明乌天麻品质更优。

2.2 鲜天麻中挥发性物质 Gallery Plot 指纹图谱

绘制不同鲜天麻样品的 Gallery Plot 指纹图谱,如图 3 所示。

由图 3 可以看出,3 种乌天麻所含挥发性物质种类和含量均明显高于红天麻和杂交天麻,其中 T3 云南乌天麻中苯甲醛、苯乙醛、丙烯酸正丁酯、正己醇、异戊酸、丙酸和苯乙稀含量最高,比较典型特色的挥发性物质为丙烯酸正丁酯、丙酸和未知物 24,这 3 种挥发性物质在其他鲜天麻中基本检测不到,即便在 T2 贵州乌天麻中有检出,但检测到的浓度极低;T7 湖北乌天麻中反式 E-2-己烯醛、E-2-辛烯醛、E-2-庚烯醛、己醛、异戊酸甲酯、2-丁酮、1-辛烯-3-醇、1-戊醇和 2-正戊基咪喃等物质含量最高,比较典型特色的挥发性物质为(E)-2-庚烯醛;T1 贵州红天麻中挥发性物质种类和浓度均优于其他红天麻,其中庚醛、辛醛、壬醛、己醛、乙酸乙酯、甲酸乙酯、异丙醇、丁醇

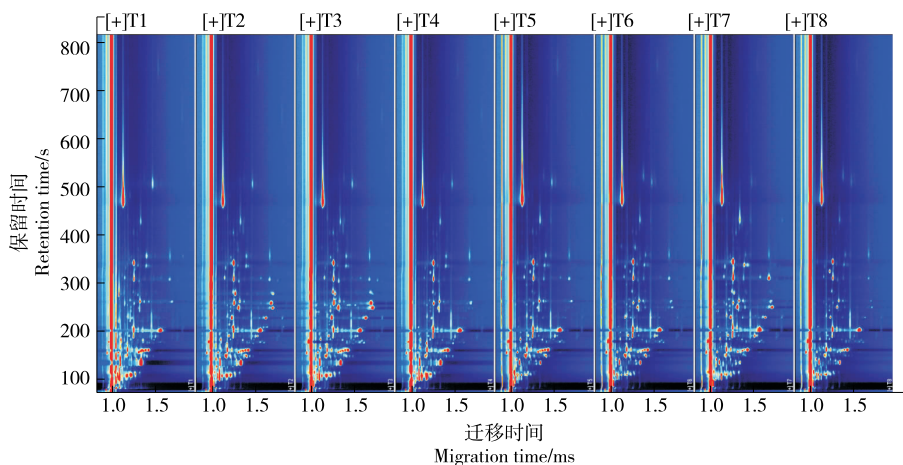


图 1 鲜天麻中挥发性有机物的成分谱图

Figure 1 Spectrum of volatile components in fresh *Gastrodia elata* BI

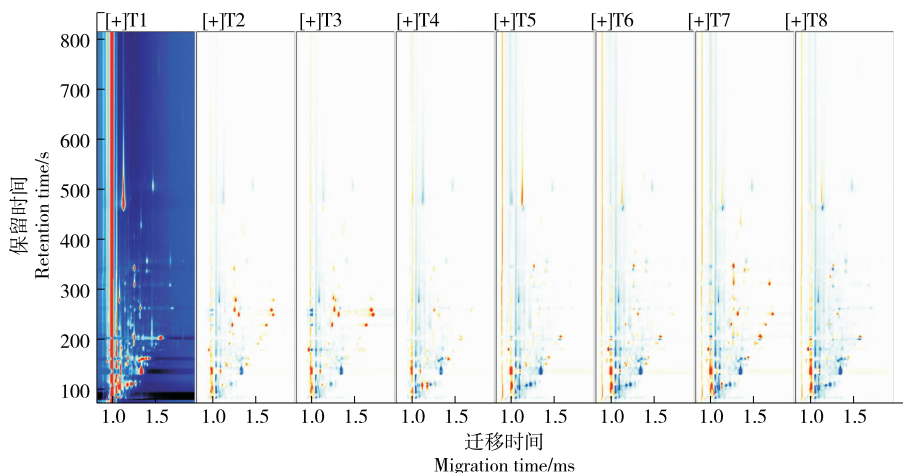
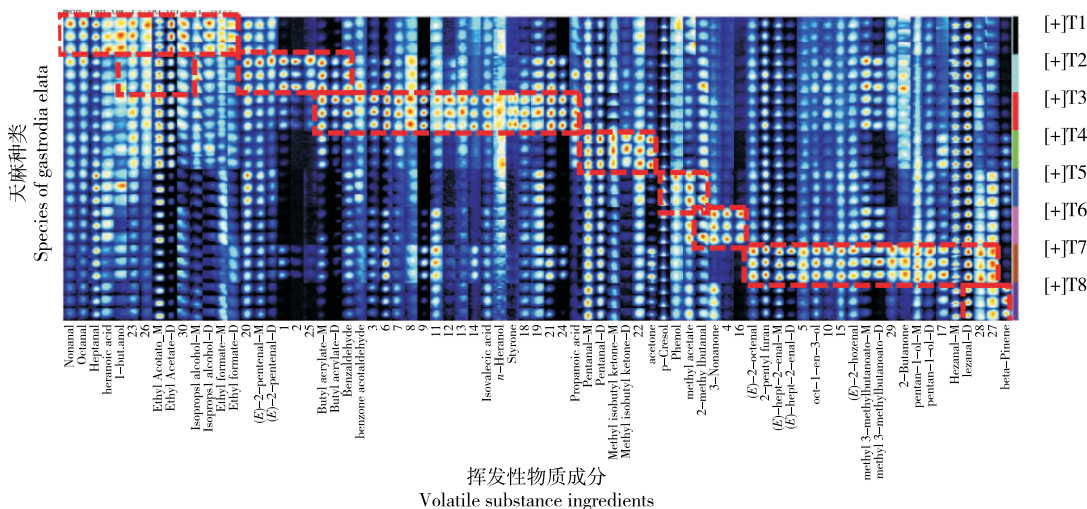


图 2 鲜天麻中挥发性有机物的成分对比差异图谱

Figure 2 Comparative difference spectrum of volatile components in fresh *Gastrodia elata* BI



横行代表一个鲜天麻样品中的不同挥发性物质成分；竖列代表检测到某种挥发性物质在不同鲜天麻样品中的信号峰强度；每一个信号峰的颜色明暗代表该物质的浓度高低；红色代表该挥发性物质含量较高，白色代表含量低；数字表示未知物

图 3 鲜天麻的 Gallery Plot 指纹图谱

Figure 3 Gallery plot fingerprint of fresh *Gastrodia elata* BI

和己酸等物质含量最高;T2 贵州乌天麻中比较典型的挥发性物质为未知物 1、2 和 25;T4 湖北红天麻中相对典型的物质为 4-甲基-2-戊酮;T8 甘肃红天麻样品中的典型香气物质为 β -蒎烯,甘肃红天麻中含量最高,在 T4 湖北红天麻和 T5 商洛杂交天麻样品中也含有,但含量非常低,而在其他鲜天麻样品中未检测到;在 T6 汉中红天麻中也检测到了其特有的挥发性物质,即未知物 16,该挥发性物质仅在汉中红天麻中存在,而在其他鲜天麻中未检测到。

2.3 主成分分析

降维后进行主成分分析,其结果见图 4。不同颜色代表不同产地或品种的鲜天麻,不同点的远近代表相似性高低,相同点的离散程度代表相同样品的均一性。由图 4 可知,红天麻和乌天麻之间各自具有一定聚集区域,说明两个品种鲜天麻之间的特征差异较为明显。而相同品种不同产地的样本之间的特征差异也比较明显,平行测试聚集更为紧密,而样本间的距离较远。

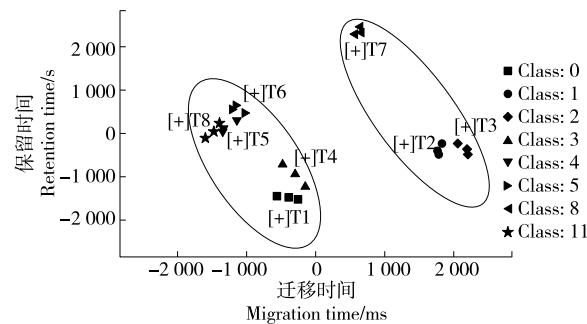


图 4 样品 PCA 分析
Figure 4 PCA analysis

由图 4 还可以看出,第一主成分贡献率 35%,第二主成分贡献率 24%,第一、二主成分总贡献率 59%。T2 贵州乌天麻、T3 云南乌天麻和 T7 湖北乌天麻分散在一侧,说明 3 种乌天麻具有相似性,且 T2 贵州乌天麻和 T3 云南乌天麻聚集度较高,说明这两个产地采集的天麻相似性更好,且 3 个产地鲜天麻的均一性均较好。T1 贵州红天麻、T4 湖北红天麻、T5 商洛杂交天麻、T6 汉中红天麻和 T8 甘肃红天麻聚集度较好,说明相似性较高,而 T5 商洛杂交天麻介于 T6 汉中红天麻和 T8 甘肃红天麻之间,且与 T8 甘肃红天麻相似性更高,说明 T5 商洛杂交天麻的品性更接近红天麻,而与乌天麻相似性较差。不同产地的鲜天麻,其聚集比较分散,而相同品种的鲜天麻聚集性更高,说明影响聚类的主要因素是鲜天麻品种,而地域不是影响鲜天麻香气的主因。

2.4 聚类分析

样品间欧氏距离图见图 5。通过欧式距离,可以更直接对所有样本进行辨别区分,可以看出 T2 贵州乌天麻和 T3 云南乌天麻之间以及 T6 汉中红天麻和 T8 甘肃红天

麻之间的距离较近,相似度高,而 T5 商洛杂交天麻与 T6 汉中红天麻和 T8 甘肃红天麻之间相似度均较高。也进一步证实 T2 贵州乌天麻和 T3 云南乌天麻相似性更高, T6 汉中红天麻和 T8 甘肃红天麻相似性更高;T5 商洛杂交天麻与红天麻相似性较乌天麻而言更高。这与主成分分析结果一致。其原因可能是:① 两个地域的相同品种天麻本身就很接近;② 当地种植的天麻购于另一个地方,由于种植环境、海拔等的不同,导致天麻香气有所差异,但差异不大,因此不同地域同一个品种鲜天麻的相似性较高。

2.5 鲜天麻中挥发性有机物定性分析

由图 6 可以看出,鲜天麻中共检测到 75 种挥发性物

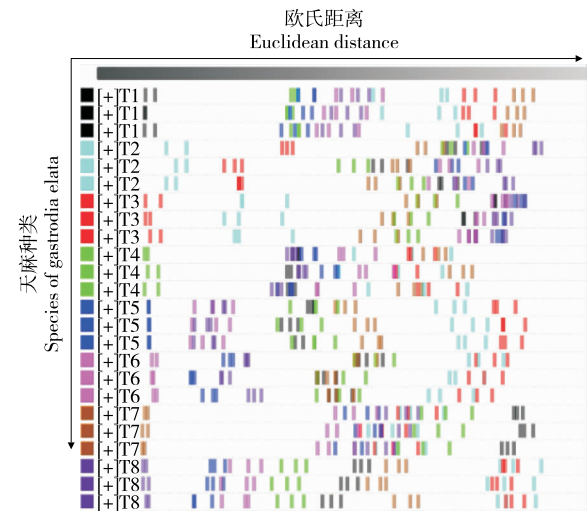


图 5 样品间欧氏距离图
Figure 5 Euclidean distance graph

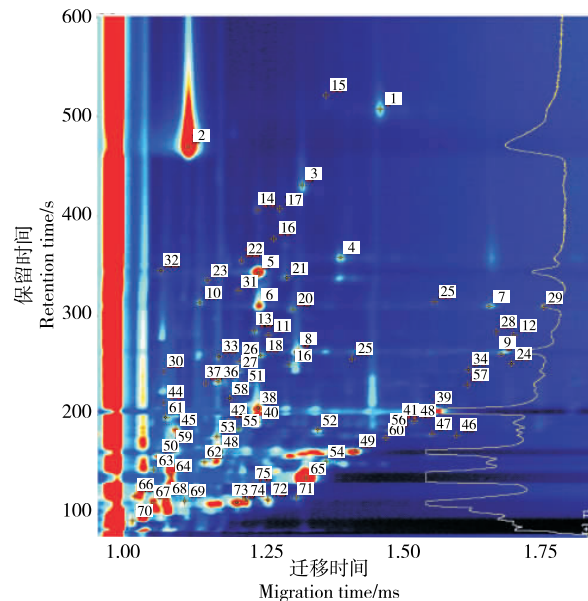


图 6 Library Search 定性分析
Figure 6 Qualitative analysis

表 3 鲜天麻中挥发性化合物定性分析列表

Table 3 Qualitative analysis of volatile compounds in fresh *Gastrodia elata* BI

分类	物质名称	CAS#	保留指数	保留时间/s	迁移时间/ms	
醛类	壬醛	C124196	1 108.4	506.897	1.474 33	
	(E)-2-庚烯醛-M	C18829555	955.1	310.566	1.256 74	
	(E)-2-庚烯醛-D	C18829555	953.3	309.093	1.670 31	
	庚醛	C111717	900.7	264.146	1.326 78	
	苯甲醛	C100527	957.6	312.746	1.149 74	
	苯乙醛	C122781	1 037.9	405.471	1.253 67	
	正辛醛	C124130	1 005.0	358.176	1.403 34	
	反-2-辛烯醛	C2548870	1 055.5	430.819	1.333 90	
	反式-2-戊烯醛	C1576870	751.4	185.758	1.107 00	
	反式-2-戊烯醛	C1576870	749.6	185.016	1.362 73	
	2-甲基丁醛	C96173	658.1	152.062	1.158 61	
	反式-2-己烯醛	C6728263	847.8	233.142	1.183 72	
	正己醛-M	C66251	798.9	206.934	1.255 01	
	正己醛-D	C66251	798.5	206.700	1.564 76	
	戊醛-M	C110623	696.1	163.351	1.182 47	
	戊醛-D	C110623	695.8	163.203	1.429 33	
	丙烯酸正丁酯-M	C141322	895.3	259.584	1.259 93	
	丙烯酸正丁酯-D	C141322	896.6	260.718	1.691 84	
	酯类	异戊酸甲酯-M	C556241	769.6	193.128	1.202 16
		异戊酸甲酯-D	C556241	770.7	193.573	1.535 67
乙酸乙酯-M		C141786	609.4	138.932	1.097 59	
乙酸乙酯-D		C141786	600.4	136.490	1.340 70	
乙酸甲酯		C79209	533.5	118.474	1.033 80	
甲酸乙酯-M		C109944	509.2	111.910	1.065 69	
甲酸乙酯-D		C109944	516.0	113.742	1.233 36	
酮类		丙酮	C67641	514.3	113.284	1.123 45
	2-丁酮	C78933	573.2	129.161	1.245 53	
	3-壬酮	C925780	1 118.4	521.278	1.377 58	
	4-甲基-2-戊酮-M	C108101	732.0	177.893	1.181 59	
	4-甲基-2-戊酮-D	C108101	729.7	176.947	1.483 67	
醇类	1-辛烯-3-醇	C3391864	983.6	334.932	1.164 06	
	正己醇	C111273	870.1	245.076	1.632 37	
	1-戊醇-M	C71410	767.9	192.426	1.252 56	
	1-戊醇-D	C71410	767.9	192.426	1.510 68	
	异丙醇-M	C67630	522.8	115.574	1.089 83	
	异丙醇-D	C67630	510.3	112.215	1.216 86	
	丁醇	C71363	662.5	153.260	1.376 94	
酸类	异戊酸	C503742	868.3	244.140	1.218 14	
	丙酸	C79094	707.8	168.092	1.099 44	
	正己酸	C142621	987.2	337.974	1.306 64	
其他	苯乙烯	C100425	890.6	256.074	1.423 41	
	β -蒎烯	C127913	971.0	324.168	1.219 37	
	苯酚	C108952	995.4	344.994	1.079 24	
	4-甲基苯酚	C106445	1 082.5	469.594	1.130 20	
	2-正戊基咪喃	C3777693	993.0	342.960	1.255 19	
	未知化合物(30种)	—	—	—	—	

质及其具体分布的相应位置,其中点越大、越红说明相应的挥发性物质浓度越高,即(*E*)-2-庚烯醛-M、苯甲醛、苯乙醛、戊醛-D、(*E*)-2-庚烯醛、正己醛-D、乙酸乙酯、乙酸甲酯、甲酸乙酯-M、异丙醇-D和甲酸乙酯-D是鲜天麻中最主要的挥发性物质成分。

由表3可以看出,鲜天麻中共检出75种挥发性化合物,其中可以鉴定出的物质有45种,其中,醛类物质检出数量最多,共16种,占有已知物质的35.6%;其次是酯类,共9种,占有已知物质的20%,与醛类物质总和超50%;醇类6种;酮类检出5种;酸类物质检出3种,未知化合物共检出有30种,曹森等^[16]利用电子鼻和GC-MS对贵州毕节乌天麻的芳香品质进行测定,发现烷烃类、芳香成分、硫化物和萜烯类对天麻香气的贡献率较大,可达81.42%;利用GC-MS对3个不同采收时间的天麻香气成分进行鉴定,其中第一采收期的天麻香气成分总数为40种,第二采收期的42种,第三采收期的36种,总香气成分65种,其中共有成分19种,主要为醇类、酯类、酮类、酸类、醛类、酚类、烷烃类等;测定的香气种类类型与试验结果类似,但测定检出的天麻中挥发性物质数量要比试验少10种。黄名正等^[17]以贵州天麻干燥块茎为试材,利用超临界CO₂萃取天麻中挥发性成分,结合GC-MS进行定量分析,结果发现,天麻油中共分离鉴定出30种挥发性成分,主要为醛类、酚类、酯类、植醇类、有机酸类、烷烃和烯炔类等,尤以有机酸类占比最大;虽然测定的挥发性物质类型比试验多,但得到的天麻挥发性成分数量要少50%以上,可能与试验材料有关。采用不同的仪器对天麻挥发性成分进行分析测定,影响因素除与天麻材料本身有关外,也与所选仪器有很大关系,其中电子鼻测定的是大的挥发性物质种类,而不能测定分析出具体是哪一种物质;GC-MS是全范围测定,易挥发性物质、半挥发性物质和难挥发性物质均可测定,而GC-IMS主要测定易挥发性物质,而且检测的限值较GC-MS更低,更灵敏,可以捕捉检测到更多痕量有机物,在试验测定时,需要根据实际情况具体选择,也可多仪器结合测定,结果更全面。在该试验中有近50%的物质数据库中无法检测到,后期需要结合质谱、核磁共振等测定结果进一步分析其化学结构,从而确定其具体物质名称。

3 结论

(1) 红天麻和乌天麻之间的特征差异比产地之间更为明显,说明通过挥发性物质成分的测定可以区别鲜天麻的品种,因此该方法更适合进行鲜天麻品种的区分鉴定,而不适用于产地之间的区分。

(2) 商洛乌红杂交天麻与甘肃红天麻之间相似度最高,而与乌天麻相似性较差。

(3) 该方法能够定性出鲜天麻中的75种挥发性化学

物质,其中醛类物质检出数量最多,共16种,其次为酯类、醇类等,尤以(*E*)-2-庚烯醛-M、苯甲醛、苯乙醛、戊醛-D、(*E*)-2-庚烯醛、正己醛-D、乙酸乙酯、乙酸甲酯、甲酸乙酯-M、异丙醇-D和甲酸乙酯-D在鲜天麻中浓度高;有30种未定性物质,还需结合质谱、核磁共振等技术进一步进行分析。

参考文献

- [1] 孙海燕. 天麻多酚的超声辅助提取工艺优化及抗氧化活性研究[J]. 食品与机械, 2016, 32(10): 158-163.
SUN Hai-yan. Optimization of process extraction of polyphenols from *Gastrodia elata* BI and its antioxidant activity[J]. Food & Machinery, 2016, 32(10): 158-163.
- [2] 关萍, 石建明, 高玉琼. 天麻的挥发性成分分析[J]. 四川师范大学学报(自然科学版), 2008, 31(5): 615-618.
GUAN Ping, SHI Jian-ming, GAO Yu-qiong. Study on the volatile components of *Gastrodia elata*[J]. Journal of Sichuan Normal University(Natural Science), 2008, 31(5): 615-618.
- [3] 杨涛华, 张晴雯, 龚霄, 等. 基于顶空气相—离子迁移色谱的不同品种番荔枝挥发性成分比较[J]. 食品工业科技, 2021, 42(16): 249-254.
YANG Tao-hua, ZHANG Qing-wen, GONG Xiao, et al. Comparison of volatile components of different annona varieties based on head-space phase-ion mobility chromatography [J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(16): 249-254.
- [4] 刘萍, 贾欣怡, 祁兴普, 等. 基于风味指纹谱的肉脯加工阶段判别分析[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(7): 232-237.
LIU Ping, JIA Xin-yi, QI Xing-pu, et al. Discrimination analysis of dried pork slice processing stages based on flavor fingerprints[J]. Food and Fermentation Industries, 2021, 47(7): 232-237.
- [5] 姚文生, 蔡莹喧, 刘登勇, 等. 基于HS-GC-IMS和HS-SPME-GC-MS对熏鸡腿肉挥发性风味成分分析[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(9): 253-261.
YAO Wen-sheng, CAI Ying-xuan, LIU Deng-yong, et al. Analysis of volatile flavor compounds in smoked chicken thighs by HS-GC-IMS and HS-SPME-GC-MS[J]. Food and Fermentation Industries, 2021, 47(9): 253-261.
- [6] 顾双, 任芳, 韦真博, 等. 基于气相—离子迁移谱技术快速鉴定黄酒酒龄及品牌[J]. 中国食品学报, 2020, 20(9): 248-255.
GU Shuang, REN Fang, WEI Zhen-bo, et al. Rapid Identification of age and brand of Chinese rice wine based on gas-ion mobility spectrometry[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2020, 20(9): 248-255.
- [7] TANG Zhong-sheng, ZENG Xin-an, BRENNAN Margaret A, et al. Characterization of aroma profile and characteristic aromas during lychee wine fermentation [J]. J Food Process Preserv, 2019, 8(43): 14003.
- [8] 于怀智, 姜滨, 孙传虎, 等. 顶空气相离子迁移谱技术对不同产地水蜜桃的气味指纹分析[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(16):

- 231-235.
- YU Huai-zhi, JIANG Bin, SUN Chuan-hu, et al. Analysis of nectarine odor fingerprints based on headspace-gas chromatography-ion mobility spectroscopy[J]. Food and Fermentation Industries, 2020, 46(16): 231-235.
- [9] XIAO Yu-tian, JOSHUA Haheto, XING Yi-huang, et al. An evaluation of biochemical, structural and volatile changes of dry-cured pork using a combined ion mobility spectrometry, hyperspectral and confocal imaging approach[J]. Journal of the science of Food and Agriculture, 2021, 101(14): 5 972-5 983.
- [10] ZHENG Cheng-yu, WANG Zhen-en, ZHANG Jing, et al. Discrimination of wood-boring beetles infested *Platyclusus orientalis* plants by using gas chromatography-ion mobility spectrometry[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2021(180): 105896.
- [11] 王熠瑶, 张彦彦, 孙俊, 等. 基于 GC-IMS 技术分析糙米储藏过程中风味物质变化[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(6): 250-255. WANG Yi-yao, ZHANG Zheng-yan, SUN Jun, et al. Analysis of flavor changes of brown rice during storage based on gas chromatography on mobility spectrometry[J]. Food and Fermentation Industries, 2020, 46(6): 250-255.
- [12] VERKOUTRERN Jennifer R, STAYMATES Jessica L. Reliability of ion mobility spectrometry for qualitative analysis of complex, multicomponent illicit drug samples[J]. Forensic Science International, 2011, 206(1): 190-196.
- [13] 刘常园, 方东路, 汤静, 等. 基于电子鼻和 GC-IMS 分析复热对香菇汤挥发性风味物质的影响[J]. 食品科学技术学报, 2020, 38(4): 46-53. LIU Chang-yuan, FANG Dong-lu, TANG Jing, et al. Based on e-
- lectronic nose and GC-IMS to study effect of reheating on volatile flavor substances of *Lentinus edodes* soups[J]. Journal of Food Science and Technology, 2020, 38(4): 46-53.
- [14] 尹含靓, 肖何, 邓高文, 等. 基于 GC-IMS 技术分析不同香辛料水煮液的风味物质组成差异[J]. 食品工业科技, 2021, 42(17): 278-284. YIN Han-liang, XIAO He, DENG Gao-wen, et al. Based on GC-IMS technology to analyze the difference in flavor composition of different spice boiling liquids[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(17): 278-284.
- [15] 李湘, 江靖, 李高阳, 等. GC-IMS 结合化学计量学分析不同采后处理对柑橘果皮挥发性化合物的影响[J]. 食品科学, 2021, 42(20): 128-134. LI Xiang, JIANG Jing, LI Gao-yang, et al. Effects of different postharvest treatments on volatile compounds in citrus peel analyzed by gas chromatography-ion mobility spectrometry and with chemometrics[J]. Food Science, 2021, 42(20): 128-134.
- [16] 曹森, 赵成飞, 马风伟, 等. 基于电子鼻和 GC-MS 评价不同采收期天麻的芳香品质[J]. 北方园艺, 2019(19): 87-94. CAO Sen, ZHAO Cheng-fei, MA Feng-wei, et al. Aroma quality of different harvesting period *Gastrodia elata* by electronic nose and gas chromatography-mass spectrometry[J]. Northern Horticulture, 2019(19): 87-94.
- [17] 黄名正, 李鑫. SDE-GC-MS 分析天麻挥发性成分的种类及含量[J]. 贵州农业科学, 2018, 46(5): 110-113. HUANG Ming-zheng, LI Xin. Kind and content of volatile components in *Gastrodia elata* by SDE-GC-MS analysis[J]. Guizhou Agricultural Sciences, 2018, 46(5): 110-113.

信息窗

过热蒸汽加工: 提高食品质量和安全的新型加工技术

精准可控的加热调理技术是中式食品加工中火候控制的关键。传统的水煮、汽烹、油烹、火烹等热加工方式,存在着传热效率不高、能耗高、火力控制难、加热不均匀、产品质量不稳定等问题。食品产业迫切需要高效、节能、低碳环保、稳定可控的绿色热加工技术。中国农业科学院农产品加工研究所中式食品加工与装备创新团队聚焦肉类菜肴过热蒸汽新型调理、数字化烹饪加工、高效自加热等技术,与智能装备研究,取得了系列重要进展,研发的过热蒸汽加工技术已应用于红烧类、烤制类、蒸炖类等菜肴的数字化加工。

基于前期研究,该团队全面回顾了过热蒸汽对加工食品(包括肉类、水果、蔬菜、谷物等)的营养、理化和安全特性的影响,阐述了过热蒸汽加工的基本原理和应用场景,总结出过热蒸汽比传统的热处理方法具有更高的传热系数,可以有效消除或减少食品表面的微

生物,抑制脂质氧化和有害化合物生成;且过热蒸汽能够改善蛋白质与其他分子的相互作用、适当的淀粉糊化,还可以减少营养损失,改善食品的理化性质。对过热蒸汽加工中食品品质的形成与调控进行深入研究,将有效控制过热蒸汽过度加工导致的产品质量劣变。

上述成果与诺丁汉大学马来西亚分校、麦吉尔大学、中国农业大学合作以综述形式发表在食品领域国际知名期刊《Critical Reviews in Food Science and Nutrition》(一区,Top 期刊,IF:11.176),为充分挖掘利用过热蒸汽绿色加工技术的优势,开展中式食品的智能生产,促进产品品质提升与保持,提供了一条可行性路径。相关成果得到了“十三五”国家重点研发计划、中国农业科学院科技创新工程、中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资助。

(来源: <http://news.foodmate.net>)