

香菇挥发性成分 SPME-GC-MS 分析及特征指纹图谱的建立

陈万超^{1,2}, 杨焱^{*1}, 李文¹, 蒋俊³,
于海龙¹, 冯杰¹, 李晓贝¹, 刘昆³

(1. 国家食用菌工程技术研究中心,农业部南方食用菌资源利用重点实验室,上海市农业科学院食用菌研究所,上海 201403; 2. 上海海洋大学 食品学院,上海 201306; 3. 丽水市农科院 食药食用菌研究所,浙江 丽水 323000)

摘要: 采用顶空固相微萃取-气相色谱-质谱联用技术(SPME-GC-MS)对 12 个品种香菇挥发性成分进行分析,并结合聚类分析提取出 42 个共有香气特征成分,构建成香菇特征指纹图谱。同时图谱信息与样品共有峰信息进行相似性分析,得到其良好可靠性,且可设定相似度阈值为 0.6 来衡量其香气品质,或者甄别与香菇香气的差异程度;依据所建图谱信息,采用主成分分析对其他食用菌样品进行对照研究,显示香菇样品与其他食用菌样品均存在明显差异,表明该特征指纹图谱可用于香菇香气的鉴定和监控。

关键词: 香菇;气相色谱-质谱联用技术;指纹图谱;主成分分析;挥发性成分

中图分类号: TS 201.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673—1689(2016)010—1074—07

Analysis of Volatile Components in *Lentinula edodes* by SPME-GC-MS and Establishment of Fingerprint

CHEN Wanchao^{1,2}, YANG Yan^{*1}, LI Wen¹, JIANG Jun³,
YU Hailong¹, FENG Jie¹, LI Xiaobei¹, LIU Kun³

(1. National Engineering Research Center of Edible Fungi, Key Laboratory of Edible Fungi Resources and Utilization (South), Ministry of Agriculture, the People's Republic of China; Institute of Edible Fungi, Shanghai Academy of Agricultural Science, Shanghai 201403, China; 2. College of Food Science and Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 3. Institute of Edible and Medical Fungi, Lishui Academy of Agricultural Science, Lishui 32300, China.)

Abstract: Volatile components in 12 *Lentinula edodes* species were analyzed by headspace solid phase micro extraction-gas chromatography-mass spectrometry (SPME-GC-MS), and 42 common aroma components were extracted according to the results of clustering analysis to construct the *L. edodes* characteristic fingerprints. At the same time, the similarity analysis between fingerprint information and sample common component information was performed, the results turned out to be its good reliability. Furthermore, the similarity threshold can be set as 0.6 to measure the quality of its aroma or the degree of difference from *L. edodes* odor. Based on the characteristic fingerprints information, samples were compared to other edible fungi by principal component analysis (PCA),

收稿日期: 2015-01-04

基金项目: 上海市科技兴农重点攻关项目(沪农科攻字(2013)第 6—10 号)。

* 通信作者: 杨焱(1970—),女,新疆乌鲁木齐人,工学博士,研究员,主要从事食药真菌研究。E-mail: yangyan@saas.sh.cn

and the results showed that the odors between *L. edodes* and other edible fungi were significantly different, indicating that the aroma characteristic fingerprint can be used to identify and monitor *L. edodes* aroma.

Keywords: *Lentinula edodes*, SPME-GC-MS, fingerprint, principal component analysis (PCA), volatile components

全球香菇(*Lentinula edodes*)栽培产量仅次于双孢蘑菇(*Agaricus bisporus*)。香菇的人工栽培在我国已有 800 多年的历史^[1]。中国是世界人工栽培香菇的发祥地,是全球最大的香菇生产与消费大国,并随着栽培技术的不断革新和创新,香菇产量已占到全球香菇总产量的 70%以上^[1-2]。香菇,不仅富含香菇多糖、香菇嘌呤等活性成分,具备有效调节免疫系统、抗肿瘤、抗疲劳、抗氧化、降血脂、降胆固醇等药理作用^[3],而且鲜美可口,风味独特。其具有的浓郁特殊香味,是评价香菇品质的关键指标之一,国内外学者对香菇挥发性物质进行分析^[3-7],认为一些含硫杂环化合物是香菇的特征风味成分,一些八碳化合物具有蘑菇味,而对于具体的风味特征指纹图谱的研究并没见报道。

气味指纹分析技术是在现代仪器分析技术不断进步的推动下快速发展起来的,已经被广泛应用于水果的香气成分、肉类风味、酒类挥发性物质及香精香料风味组分的鉴定^[8]。且可采取的仪器手段,如气相色谱-质谱联用(Gas Chromatography-Mass Spectrometer, GC-MS)、气味指纹仪和味觉指纹仪等,能够产生气相色谱指纹图谱、气味指纹图谱和味觉指纹图谱,分别给出样品的结构指纹、气味指纹和口感指纹信息^[9]。其中 GC-MS 是较为常用的方法之一,而与固相微萃取(solid phase micro-extraction, SPME)联用具有操作时间短、样品量少、无需萃取溶剂、重现性好等优点^[6-7,10],可全面准确分析香菇风味组成。根据分析结果筛选对香菇风味起决定作用的特征成分,建立其指纹图谱中的特征指纹信息,采用系统聚类、相似度分析法及主成分分析(Principal Component Analysis, PCA),构建香菇指纹图谱,可为香菇和香菇产品的开发和品质的认证,提供坚实的理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

12 个品种香菇(*L. edodes*)如表 1 所示,均为目

前国内的主栽审定品种。菌种由浙江省丽水市农科院食药菌研究所提供,栽培地浙江丽水。灰树花(*Grifola frondosa*)、猴头菌(*Hericium erinaceus*)和鸡腿菇(*Coprinus comatus*)子实体干品,均购自上海百信生物科技有限公司。

表 1 香菇菌种

Table 1 *L. edodes* strains

编号	菌种	编号	菌种
1	L135	7	9015
2	241	8	申香 8 号
3	605	9	申香 10 号
4	808	10	庆科 20
5	868	11	Cr04
6	939	12	武香一号

1.2 试剂与仪器

正构烷烃混合标样(C₇—C₃₀),购自上海安谱科学仪器有限公司;邻二氯苯(色谱级),购自国药集团化学试剂有限公司;甲醇(色谱级),购自美国迪马科技公司。其他试剂均为国产分析纯,购自国药集团化学试剂有限公司。

SPME 萃取装置,75 μm CAR/PDMS(carbon/polydimethyl siloxane),美国 Supelco 公司制造;7890A-5975C 气相色谱-质谱联用仪,美国 Agilent 公司制造;HWS28 型电热恒温水浴锅,DHG-9240A 型鼓风干燥箱,上海一恒科学仪器有限公司制造;BF00A 粉碎机,上海淀久机械制造有限公司制造;Milli-Q 超纯水设备,美国 Ultra 公司制造。

1.3 实验方法

1.3.1 香菇的栽培、样品采样及预处理 12 个品种香菇栽培配方(质量分数)为木屑 79%,麸皮 20%,石膏粉 1%;开始栽培时间为 2013 年 8 月底,由于出菇时间不同,均采收第二茬香菇作为样本;按照中华人民共和国农业行业标准《NY/T 1061-2006 香菇等级规格》选取特级鲜香菇,从菌盖连接处去除菌柄,菌盖于(50±2)℃烘干至含水量低于质量分数 10%,将烘干的样品分别粉碎过 60 目筛后置于干燥

器中备用。

1.3.2 顶空固相微萃取(SPME)香菇挥发性物质
精确称取 1.0 g 粉碎的香菇干品, 装入 15 mL 的固相微萃取瓶中, 加入 5 mL 水和 10 μ L 邻二氯苯(96 mg/L), 迅速均匀后密封, 将萃取瓶放入 55 $^{\circ}$ C 恒温水浴锅中, 待样品温度升至 55 $^{\circ}$ C 时, 将老化的固相微萃取柱头(75 μ m CAR/PDMS)插入萃取瓶中, 同时推出纤维萃取头, 顶空处平衡吸附 30 min。吸附后, 立即收回萃取头, 同时将 SPME 移至 GC 进样口内, 在 250 $^{\circ}$ C 下解析 10 min。

1.3.3 GC-MS 分析条件 GC-MS 型号 Agilent 7890A-5975C, 采用 DB-5ms 毛细色谱柱(J&W Scientific Inc, Folsom, CA, USA, 30 m $\times$ 0.25 mm $\times$ 0.25 μ m), 载气为纯度 99.999% 氦气, 体积流量 1.0 mL/min, 不分流进样。进样口温度 220 $^{\circ}$ C, 传输线温度 280 $^{\circ}$ C。色谱柱升温方式为程序升温, 起始温度为 50 $^{\circ}$ C(保持 1 min), 以 10 $^{\circ}$ C/min 的升温速度升至 280 $^{\circ}$ C(5 min)。质谱条件: 离子源为 EI 源, 温度 220 $^{\circ}$ C, 四级杆 150 $^{\circ}$ C, 质量扫描范围 35~450 u。

1.4 数据统计分析

相似度分析采用 Excel 2007 软件处理, 聚类分析(clustering)和主成分分析(PCA)采用 IBM SPSS Statistic 20.0 软件处理。

2 结果与分析

2.1 香菇样品 SPME-GC-MS 分析

为了获取切实的香菇挥发性成分, 采用内标物和一系列正构烷烃的混合标样作为参照^[1]计算相对保留指数(包括相对保留时间和相对保留面积), 对

样品中各个峰进行定量和定性分析。本实验各样品 SPME-GC-MS 分析谱图如图 1 所示, 其选用邻二氯苯作为内标物, 根据被测化合物和内标物相应的色谱峰面积之比来计算被测组分的相对含量; 并将 GC-MS 结果导入 LECO Chroma TOF 软件, 选择信噪比(S/N)为 100, 采用 NIST11 和 Wiley 谱库检索, 色谱保留指数及人工解析鉴定化合物结构, 同时对比 C₇—C₃₀ 的正构烷烃混合物测定结果, 计算保留指数, 进行定性分析; 在色谱峰分析过程中删除峰面积低于 10 000(浓度过低)者, 由上述条件获得香菇挥发性成分的色谱结构。12 个品种香菇样品中共检出 219 种物质, 包括 20 种含硫化合物、14 种八碳化合物、32 种醛类、27 种醇类、13 种酮类、13 种酸类、17 种酯类、8 种酚类、1 种醚类、32 种烃类、15 种芳香类(包括 1 个内标物)、11 种呋喃、8 种吡咯、4 种吡啶、4 种吡嗪。

2.2 不同品种香菇特征香气物质聚类分析

实验中由于样品处理等因素会造成香气组成和含量的差异, 为了排除差异较大的香菇样品, 建立稳定的指纹图谱, 从而得到较为标准化的指纹特征图谱信息。实验中采用 SPME-GC-MS 对香菇挥发性成分进行分析, 将各色谱峰的相对含量与样品名称建立矩阵, 利用 IBM SPSS Statistic 20.0 软件结合系统聚类法对样品进行聚类分析, 剔除差异较大样品对指纹信息的影响。聚类分析采用组间联接聚类方法, 以欧式(Euclidean)距离为量度标准, 以 Z 得分对变量进行标准化处理^[2], 从而获得香菇挥发性成分聚类谱系图, 聚类分析结果树状图如图 2 所示。

由图可以得出, 当欧氏距离增至 17 时, 12 个香

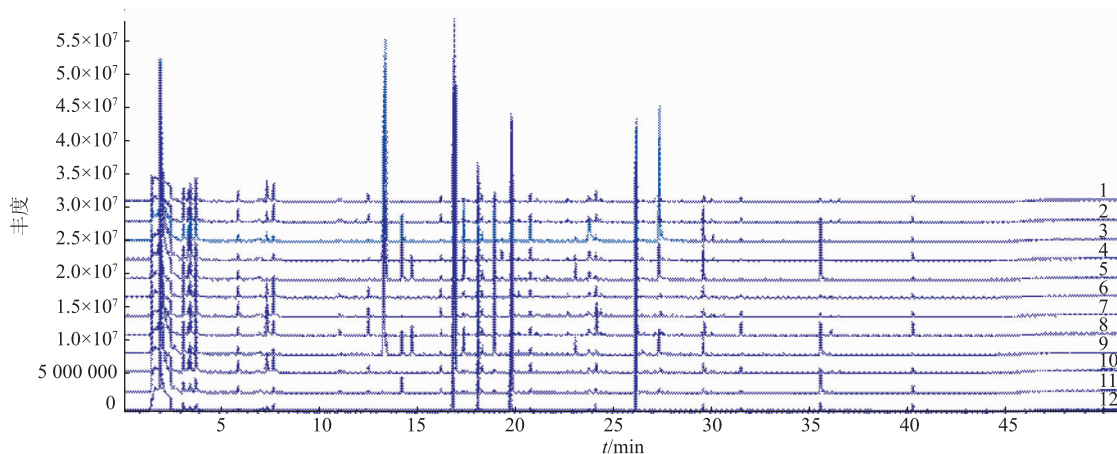


图 1 12 个品种香菇 GC-MS 色谱图

Fig. 1 GC-MS chromatogram of 12 *L. edodes*.

菇样品可被划分为两大类群,类群 I 包括申香 8 号、申香 10 号、武香一号、868、Cr04、庆科 20 和 939,类群 II 包括 241、605、9015、L135 和 808。上述两大类群相似性分布,除 808、868 和 605 没有报道外,其他与香菇菌株遗传亲缘关系的研究结果^[13-15]相类似,进一步得出遗传亲缘关系与化学成分相似性存在一定关系,选择不同亲缘距离的香菇菌株能够囊括更准确的香菇指纹信息。挥发性成分聚类图中申香 8 号和申香 10 号在最小距离形成两个聚类,表示他们之间的相似性最大。同时由图可知,从整体上看不存在某个偏差较大,即被孤立形成一个类群的情况,因此不存在差异较大样品,在后续指纹信息提取时,12 个样品挥发性分析结果均不会对指纹图谱的构建造成较大影响。

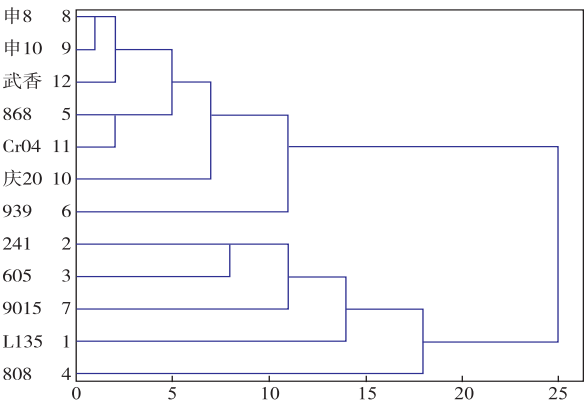


图 2 香菇挥发性成分聚类树状图

Fig. 2 Cluster pedigree diagram of active-volatiles of *L. edodes*

2.3 香菇香气特征指纹图谱的建立

香菇香气是一种复杂的体系,由许多种物质共同作用形成,同时外界的温度、湿度等因素都会对其产生一定的影响。香菇在烘干过程中,会导致氨基酸和肽类的热解、糖和氨基酸或者肽类的相互作用等,这些复杂反应会产生大量挥发性成分,从而影响香菇香气呈现。Caporaso 等^[16]研究发现,短链脂肪醛(C₅—C₉)具有特殊的香气,如己醛具有生油脂味,庚醛具有坚果味和水果青香,辛醛具有青果皮香等。通过提取香菇共有的成分,能够得到包含体现香菇香气特征的重要成分。

对挥发性成分分析结果作进一步分析,测定结果 3 min 前峰型干扰较为明显,因此剔除低保留指数(RI<900)成分,同时剔除对香气一般没有贡献的烷烃^[17],但保留 3 种含硫杂环化合物(1,2,4-三硫杂

环戊烷;1,2,4,5-四硫杂环己烷和 1,2,4,5,7-五硫杂环庚烷)。因为含硫化合物是香菇香气的重要组成部分^[5-7,18],从而提取样品中剩余共有色谱峰,建立标准化香气特征指纹图谱,如表 2 和图 3 所示。从 12 个香菇品种中共提取出 42 种共有成分,7 种八碳化合物、8 种含硫化合物、16 种醛类、5 种醇类、2 种酸类、2 种酮类、1 种吡啶和 1 种呋喃,所确定的以上成分可作为香菇特征香气的判别及其质量评价的重要依据。

表 2 香菇特征香气活性物质指纹图谱信息

Table 2 Information of chromatographic fingerprint of active-odor compounds of *L.edodes*

编号 ^a	组分	保留指数 RI	相对含量 ^b	气味特征 ^c
1	2-甲基丁醛	912	81.15	可可味,杏仁味
2	异戊醛	915	211.1	巧克力,蜜桃,脂味
3	乙醇	928	217.0	刺激醇味,轻微药味
4	正戊醛	976	17.08	杏仁味,麦芽酒味
5	2-甲基戊醛	990	7.927	青水果味,似葡萄味
6	二甲基二硫	1 078	155.7	洋葱味
7	己醛	1 090	136.3	生油脂味
8	吡啶	1 186	14.88	腐臭脛胺酸
9	庚醛	1 189	27.74	坚果味和水果青香
10	异戊醇	1 213	13.60	威士忌味,麦芽酒味
11	2-戊基呋喃	1 234	61.49	轻微焦糖味
12	2-辛酮	1 287	36.69	汽油味
13	辛醛	1 290	25.35	青果皮香
14	2-庚烯醛	1 325	12.34	青草香
15	二甲基三硫	1 379	1488	鱼腥味,卷心菜味
16	壬醛	1 395	41.04	柑橘味,青味
17	2-辛醇	1 422	282.6	蘑菇味
18	E-2-辛烯醛	1 430	79.11	坚果味,脂味
19	1-辛烯-3-醇	1 453	77.20	蘑菇味
20	糠醛	1 467	18.13	苦杏仁
21	癸醛	1 498	28.46	橘皮味,动物脂味
22	苯甲醛	1 523	96.70	杏仁味
23	E-2-壬烯醛	1 535	15.92	黄瓜味,青味
24	1-辛醇	1 557	15.57	灼烧金属味
25	2-十一酮	1 598	28.36	蜡味,水果奶油味
26	E-2-辛 烯-1-醇	1 615	33.02	肥皂,塑料味
27	苯乙醛	1 644	112.8	甜味,巧克力味
28	苯乙酮	1 650	30.66	杏仁味
29	1-壬醇	1 659	41.04	脂肪,青味

续表 2

编号 ^a	组分	保留指数 RI	相对含量 ^b	气味特征 ^c
30	2,3,5-三硫杂己烷	1 660	98.83	洋葱,刺激硫磺味
31	异戊酸	1 670	24.86	奶酪味,发酵乳味
32	1,2,4-三硫杂环戊烷	1 749	876.4	— ^d
33	阿托醛	1 802	28.61	肉桂芳香气味
34	(E,E)-2,4-癸二烯醛	1 811	9.12	油脂味,鸡肉味
35	己酸	1 845	8.91	酸脂味,奶酪味
36	苯甲醇	1 876	9.43	甜味,花香
37	苯乙醇	1 910	37.00	甜味,玫瑰味
38	2-苯基巴豆醛	1 932	17.02	可可香,坚果味
39	雪松醇	2 113	5.12	杉木香
40	1,2,4,5-四硫杂环己烷	2 210	224.10	—
41	三(甲硫基)甲烷	2 241	19.33	蘑菇味,霉味
42	1,2,4,5,7-五硫杂环庚烷	2 457	68.87	—
*e	邻氯二苯	1 485	960.00	—

注:a 色谱峰编号, 分别代表在 GC-MS 分析中共有峰成分;b 相对含量单位 $\mu\text{g/kg}$;c 查询于 The Good Scents Company Information System;d 未查到相应香气特征;e 内标物:邻氯二苯。

2.4 香菇特征香气指纹信息相似度评价

指纹图谱相似度是指指纹图谱信息的整体相关性, 常用相关系数 (Correlation)、余弦夹角 (Angle cosine) 等计算方法^[12,19-20]进行分析。为确保所构建指

纹信息的可靠性, 优先考虑构建样品指纹信息的相似度情况。将所选 12 个香菇品种样品共有色谱峰的相对含量与构建的指纹图谱信息(表 2)做相似度分析, 如图 4 所示, 相关系数位于 0.57~0.98(>0.5) 之间, 余弦夹角位于 0.63~0.98 之间, 说明 12 个样品共有峰与指纹图谱信息相似性较好, 所构建的香气特征指纹图谱信息具有可靠性。在实际应用中, 待测样品与指纹图谱信息的相似度应存在某个阈值来衡量其香气品质或者甄别与香菇香气的差异程度, 因此本实验结果可以得到一个合适的阈值 0.6 作为这个衡量标准。

2.5 3 种其他食用菌与香菇样品主成分分析

主成分分析 (Principal component analysis, PCA) 是一种较为经典的特征抽取和降维技术, 可用于大量数据的简化及优化处理, 快速实现模式或者关系的可视化识别^[2]。本实验依据所构建的香菇特征指纹信息数据(表 2), 分别对 3 种其他食用菌(灰树花、猴头菌和鸡腿菇) 和 12 个品种香菇进行分析, 采用 SPSS 软件中因子分析进行 PCA 分析, 如图 5 所示, 以 42 种香菇共有香气物质为分类变量, 对 12 个香菇样品和 3 个其他食用菌样品进行分类, 其中香菇样品和其他食用菌样品聚集在不同位置, 说明其间存在明显差异。

同时 PCA 分析中主成分 1(48.76%)、主成分 2(23.81%) 和主成分 3(15.14%) 累计方差贡献率为 87.71%(>85%), 能够反映样本原始数据的大部分信息, 表示通过 PCA 分析能较好地地区分香菇和其他食用菌, 整体上利用所构建的指纹图谱信息, 可以使香菇的特征得以呈现。

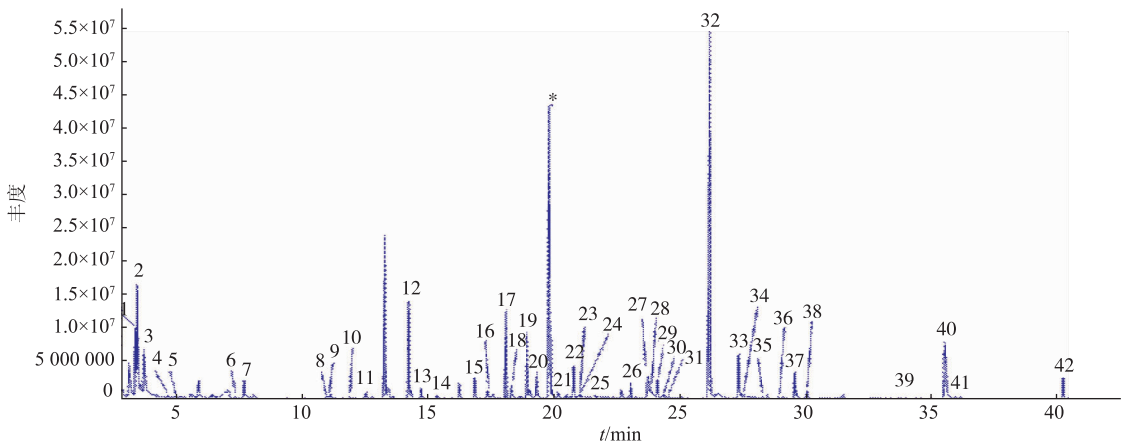


图 3 香菇挥发性成分 GC-MS 指纹图谱
Fig. 3 GC-MS fingerprint of volatiles of *L.edodes*

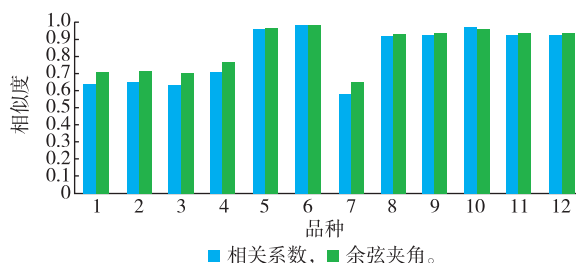


图 4 不同品种香菇样品相似度分析

Fig. 4 Results of similarity among different strains of *L. edodes* samples

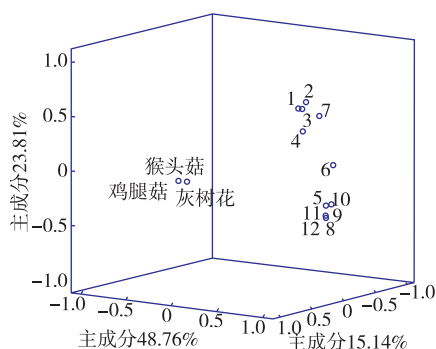


图 5 香菇样品与其他食用菌样品 PCA 分析

Fig. 5 PCA plot of the 12 *L. edodes* samples and 3 other mushroom samples

3 结 语

以 12 个国内审定的香菇品种栽培子实体干燥样本为基础,采用 SPME-GC-MS 分析技术测定香菇挥发性成分,共检测出 219 种化合物。对品种和各化合物相对含量进行聚类分析,不存在偏差较大样品,且相似性分布与其遗传亲缘关系类似,因此 12 个品种数据均可采用,且选择不同亲缘距离的香菇菌株能够囊括更准确的香菇指纹信息。

根据所得的挥发性成分构建了能够反映香菇香气特征的指纹图谱信息,提取具有一定香气特征的共有峰 42 个,其中含 7 种八碳化合物、8 种含硫化合物、16 种醛类、5 种醇类、2 种酸类、2 种酮类、1 种吡啶和 1 种呋喃,其中八碳化合物(如 1-辛烯-3-醇、2-辛醇等)、8 种含硫化合物(如 1,2,4-三硫杂环戊烷、二甲基二硫醚、二甲基三硫醚等)分别为食用菌和香菇特征物质。12 个品种上述共有峰相似度分析结果较好,同时与其他种类食用菌进行主成分分析,能较好地地区别香菇与其它种类的食用菌,验证了所构建的香气特征指纹图谱信息具有可靠性和准确性,且可通过设定相似度阈值 0.6 来衡量其香气品质,甄别香菇风味与其他食用菌的差异程度。

参考文献:

- [1] 叶翔,黄晨阳,陈强,等. 中国主栽香菇品种 SSR 指纹图谱的构建[J]. 植物遗传资源学报,2012,13(6):1067-1072.
YE Xiang, HUANG Chenyang, CHEN Qiang, et al. Marking SSR fingerprint profile for commercial cultivars of *Lentinula edodes* [J]. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2012, 13(6): 1067-1072. (in Chinese)
- [2] 黄年来,林志彬,陈国良. 中国食用菌学[M]. 上海:上海科学技术文献出版社,2010.
- [3] WADA S, NAKATANI H, MORITA K. A new aroma bearing substance from shiitake, an edible mushroom [J]. *Food Science*, 1967, 32: 559-561.
- [4] MORITA K S. Isolation and synthesis oil enthionine, an odorous substance of shiitake, an edible mushroom [J]. *Tetrahedron Letters*, 1996(6): 573-577.
- [5] 郑建仙,丁霄霖. 福建香菇风味的检测[J]. 无锡轻工大学学报,1995,14(2):102-108.
ZHENG Jianxian, DING Xiaolin. Flavour studies on Fujian *Lentinus edodes* [J]. *Journal of Wuxi University of Light Industry*, 1995, 14(2): 102-108. (in Chinese)
- [6] 芮汉明,贺丰霞,郭凯. 香菇干燥过程中挥发性成分的研究[J]. 食品科学,2009,30(8):255-259.
RUI Hanming, HE Fengxia, GUO Kai. Analysis of volatile components in *Lentinus edodes* during drying process [J]. *Food Science*, 2009, 30(8): 255-259. (in Chinese)
- [7] 张书香,谢建春,孙宝国. 固相微萃取/气-质联用分析香菇挥发性香味成分[J]. 北京工商大学学报(自然科学版),2010,2(28):1-5,13.
ZHANG Shuxiang, XIE Jianchun, SUN Baoguo. Analysis of volatile flavors in *Lentinus edodes* by solid-phase micro-extraction combining with GC-MS [J]. *Journal of Beijing Technology and Business University (Natural Science Edition)*, 2010, 2(28): 1-5, 13. (in Chinese)

- [8] 解万翠, 杨锡洪, 章超桦, 等. 气味指纹分析技术在虾风味料检测中的应用[J]. 食品与机械, 2011, 27(6): 119-121, 231.
XIE Wancui, YANG Xihong, ZHANG Chaohua, et al. Application of sensor array fingerprint technology in flavor determination of shrimp flavorings[J]. **Food and Machinery**, 2011, 27(6): 119-121, 231. (in Chinese)
- [9] 朱丽敏, 倪元颖, SOFFY V, 等. 气味指纹分析技术在食品质控和风味研究中的应用 [J]. 农产品加工·学刊, 2005, 9(10): 72-76, 80.
ZHU Limin, NI Yuanying, SOFFY V, 等. Applications of sensor array fingerprint technology in food quality control [J]. **Academic Periodical of Farm Products Processing**, 2005, 9(10): 72-76, 80. (in Chinese)
- [10] 陈智毅, 刘学铭, 施英, 等. 顶空固相微萃取气质联用分析白金针菇中的挥发性成分[J]. 食品学报, 2009, 16(1): 73-75.
CHEN Zhiyi, LIU Xueming, SHI Ying, et al. Analysis of volatile components produced by white *Flammulina velutipes* using headspace solid-phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry (HS-SPME-GC-MS) [J]. **Acta Edulis Fungi**, 2009, 16(1): 73-75. (in Chinese)
- [11] OPREAN R, TAMA M, SANDULESCU R, et al. Essential oils analysis. I. Evaluation of essential oils composition using both GC and MS fingerprints[J]. **Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis**, 1998, 18(4-5): 651-657.
- [12] 詹萍, 田洪磊, 李卫国, 等. 羊肉特征风味指纹图谱的构建[J]. 现代食品科技, 2013, 29(10): 2522-2527.
ZHAN Ping, TIAN Honglei, LI Weiguo, et al. Establishment of mutton characteristic flavor fingerprint[J]. **Modern Food Science and Technology**, 2013, 29(10): 2522-2527. (in Chinese)
- [13] 龚利娟, 李玉, 刘淑艳. 香菇品种遗传多样性 RAPD 分子标记的研究[J]. 菌物研究, 2005, 3(1): 17-21.
GONG Lijuan, LI Yu, LIU Shuyan. Study on genetic diversity of *Lentinula edodes* by RAPD analysis [J]. **Journal of Fungal Research**, 2005, 3(1): 17-21. (in Chinese)
- [14] 刘静宇, 宋秀高, 叶夏, 等. 香菇菌株遗传多样性 ISSR、RAPD 和 SRAP 综合分析[J]. 食用菌学报, 2011, 18(3): 1-8.
LIU Jingyu, SONG Xiugao, YE Xia, et al. Differentiation of *Lentinula edodes* strains using ISSR, RAPD and SRAP markers[J]. **Acta Edulis Fungi**, 2011, 18(3): 1-8. (in Chinese)
- [15] 卓英, 谭琦, 陈明杰, 等. 香菇主要栽培菌株遗传多样性的 AFLP 分析[J]. 菌物学报, 2006, 25(2): 203-210.
ZHOU Ying, TAN Qi, CHEN Mingjie, et al. AFLP analysis of genetic diversity in main cultivated strains of *Lentinula edodes* [J]. **Mycosystema**, 2006, 25(2): 203-210. (in Chinese)
- [16] CAPORASO F, SINK J D, DIMICK P S. Volatile flavor constituents of ovine adipose tissue [J]. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 1977, 25(6): 1930-1934.
- [17] Sutherland M M, AMES J M. The effect of castration on the headspace aroma components of cooked lamb [J]. **Journal of Science and Food Agricultural**, 1995, 69(4): 403-413.
- [18] DERMIKI M, PHANPHENSOPHON N, MOTTRAM D S, et al. Contributions of non-volatile and volatile compounds to the umami taste and overall flavour of shiitake mushroom extracts and their application as flavour enhancers in cooked minced meat [J]. **Food Chemistry**, 2013, 141(1): 77-83.
- [19] ZHU X L, GAO Y, CHEN Z Y, et al. Development of a chromatographic fingerprint of tobacco flavor by use of GC and GC-MS [J]. **Chromatographia**, 2009, 69(7-8): 735-742.
- [20] 苗爱东, 孙殿甲. Excel 2002 在中药指纹图谱相似度计算中的应用[J]. 药学进展, 2003, 27(1): 51-54.
MIAO Aidong, SUN Dianjia. Application of microsoft excel 2002 to calculate the similarity in fingerprints of Chinese herbs[J]. **Progress in Pharmaceutical Science**, 2003, 27(1): 51-54. (in Chinese)