

长裙竹荪蛋挥发性成分的顶空-固相微萃取-气质联用分析

郑炯^{1,2}, 李婷婷¹, 宋家芯¹, 阚建全^{1,2,*}

(1. 西南大学食品科学学院, 重庆 400715; 2. 农业部农产品贮藏保鲜质量安全风险评估实验室(重庆), 重庆 400715)

摘要: 采用顶空-固相微萃取-气质联用法对长裙竹荪蛋干品的挥发性成分进行分析。结果表明: 从长裙竹荪蛋干品中共鉴定出65种挥发性物质, 包括20种烃类、12种酯类、11种酮类、9种醛类、6种醇类、4种酸类、3种芳香族化合物, 其中主要的挥发性成分有 β -广藿香烯(12.41%)、 α -恰米烯(9.64%)、 α -柏木烯(9.57%)、 β -雪松烯(7.58%)、 α -布黎烯(6.72%)、 α -红没药烯(4.44%)、 β -花柏烯(4.38%)、5-异长叶烯酮(3.86%)、 γ -伊兰油烯(3.74%)。

关键词: 长裙竹荪蛋; 顶空-固相微萃取; 气相色谱-质谱联用; 挥发性成分

Analysis of Volatile Compounds in Embryo of *Dictyophora indusiata* (Vent. Pers.) Fisch Using Headspace-Solid Phase Microextraction Combined with GC-MS

ZHENG Jiong^{1,2}, LI Ting-ting¹, SONG Jia-xin¹, KAN Jian-quan^{1,2,*}

(1. College of Food Science, Southwest University, Chongqing 400715, China; 2. Laboratory of Quality and Safety Risk Assessment for Agro-products on Storage and Preservation (Chongqing), Ministry of Agriculture, Chongqing 400715, China)

Abstract: The volatile compounds in the dried embryo of *Dictyophora indusiata* (Vent. Pers.) Fisch were analyzed by headspace-solid phase microextraction (HS-SPME) combined with GC-MS. Results indicated that 65 kinds of volatile compounds were identified, including 20 hydrocarbons, 12 esters, 11 ketones, 9 aldehydes, 6 alcohols, 4 acids and 3 aromatic compounds. The major volatile components in *Dictyophora indusiata* (Vent. Pers.) Fisch were β -patchoulene (12.41%), α -chamigrene (9.64%), α -cedrene (9.57%), β -cedrene (7.58%), α -bulnesene (6.72%), α -bisabolene (4.44%), β -chamigrene (4.38%), isolongifolen-5-one (3.86%) and γ -muurolene (3.74%).

Key words: embryo of *Dictyophora indusiata* (Vent. Pers.) Fisch; headspace-solid phase microextraction; gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS); volatile compounds

中图分类号: TS201.2

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630(2014)08-0125-04

doi:10.7506/spkx1002-6630-201408024

竹荪(*Dictyophora indusiata* Fisch), 别名竹参、竹君、竹笙, 是一类营养丰富的大型野生食用菌, 其在真菌学分类上属于菌物界(Fungi)、真菌门(Eumycota)、担子菌亚门(Basidiomycotina)、腹菌纲(Gasteromycetes)、鬼笔目(Phallales)、鬼笔科(Phallaceae)、竹荪属(*Dictyophora*)。竹荪口味鲜美, 是著名的珍贵食用菌之一, 竹荪属目前共分12个种, 其中可食用的和药用的有长裙竹荪、短裙竹荪、红托竹荪和刺托竹荪等^[1-2]。现代营养学研究表明, 竹荪中含有21种氨基酸, 其中8种必需氨基酸的含量在竹荪子实体各部分都很丰富。同时, 竹荪还富含维生素和各种

微量元素, 特别是VB₂的含量较高。此外, 竹荪还有增强免疫力、抗肿瘤、抗衰老等生物活性功能^[3-4]。因此, 竹荪具有较高的食用和药用价值。

长裙竹荪是竹荪属中著名的食用珍品之一, 产于福建、湖南、广东、广西、四川、云南、贵州等少数山区的竹林中。目前, 国内外对长裙竹荪的研究主要集中在化学成分的分析^[5-8]、多糖成分的提取和生物活性研究^[9-13], 以及竹荪提取物抑菌活性的研究^[14-17]等。而关于长裙竹荪中挥发性成分的研究报道较少, 陈曦等^[18]采用同时蒸馏萃取法, 结合气相色谱-质谱联用技术对长裙竹荪子实体干品的挥发性成分进行了分析。但是, 对长裙竹荪

收稿日期: 2013-06-21

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项资金项目(XDJK2013C131)

作者简介: 郑炯(1982—), 男, 讲师, 博士研究生, 研究方向为食品化学与营养学、果蔬加工。E-mail: zhengjiong_swu@126.com

*通信作者: 阚建全(1965—), 男, 教授, 博士, 研究方向为食品化学与营养学、食品生物技术。E-mail: ganjq1965@163.com

胚体即竹荪蛋挥发性成分的研究还未见报道。因此, 本实验拟以顶空-固相微萃取结合气相色谱-质谱联用 (gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS) 技术对长裙竹荪蛋干品的挥发性成分进行分析, 旨在进一步全面的了解长裙竹荪蛋干品的香气成分, 并为长裙竹荪蛋干品风味成分的研究和品质评价提供一定的参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

长裙竹荪蛋干品 四川宜宾市长宁县盛林菌类种植专业合作社。

正癸烷标准品 (纯度 $\geq 98\%$) 美国Sigma公司。

1.2 仪器与设备

GC-MS 2010型气相色谱-质谱联用仪 (配有电子电离源及GC-MS solution 2.50工作站) 日本岛津公司; 固相微萃取装置 (配有50/30 μm DVB/CAR/PDMS萃取头) 美国 Supelco公司。

1.3 方法

1.3.1 顶空-固相微萃取

取2.0 g粉碎样品置于25 mL 顶空-固相微萃取专用样品瓶中, 加入20 μL 正癸烷 (5 $\mu\text{g/mL}$) 作为内标物, 用聚四氟乙烯隔垫密封, 在55 $^{\circ}\text{C}$ 水浴中平衡5 min, 将萃取头通过聚四氟乙烯隔垫插入样品瓶中, 顶空吸附30 min, 缩回纤维头后从样品瓶中拔出萃取头, 将萃取头插入GC-MS进样口, 250 $^{\circ}\text{C}$ 解吸5 min, 同时启动仪器采集数据。

1.3.2 GC-MS分析

色谱条件: DB-5 MS 石英毛细色谱柱 (30 m $\times$ 0.25 mm, 0.25 μm); 升温程序: 50 $^{\circ}\text{C}$ 保持2 min, 以8 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升至140 $^{\circ}\text{C}$ 保持5min, 以2 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升至150 $^{\circ}\text{C}$, 以10 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升至230 $^{\circ}\text{C}$ 保持5 min; 进样口温度: 250 $^{\circ}\text{C}$; 进样方式: 不分流进样; 载气 (高纯He, 99.999%) 流速: 1.0 mL/min。

质谱条件: 电子电离源; 检测器电压830 eV; 离子源温度230 $^{\circ}\text{C}$; 接口温度230 $^{\circ}\text{C}$; 数据采集方式Scan; 扫描速率769 u/s; 扫描范围 m/z 40~400。

1.3.3 挥发性成分的定性与定量分析^[19-20]

对检测结果的定性分析, 通过仪器所配置的NIST 08.LIB和NIST 08s.LIB谱库进行自动检索, 并结合标准品对照和计算保留指数共同确定。定量分析, 以正癸烷为内标, 根据内标物的浓度、样品中各组分的峰面积与内标峰面积的比值, 计算竹荪蛋干品中各组分的含量, 认定内标的因子为1; 相对含量的确定: 采用面积归一化法。

2 结果与分析

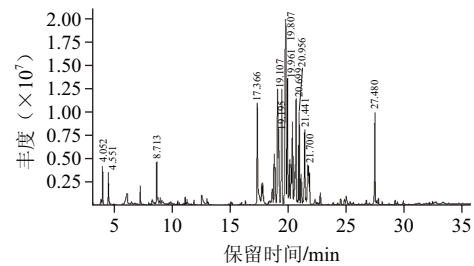


图1 长裙竹荪蛋挥发性成分的GC-MS色谱图

Fig.1 GC-MS chromatogram of volatile compounds in embryo of *Dictyophora indusiata* Fisch

表1 长裙竹荪蛋中挥发性成分的鉴定结果
Table 1 Identified volatile compounds in embryo of *Dictyophora indusiata* Fisch

编号	保留指数	化合物名称	分子式	相对含量/%	含量/ ($\mu\text{g/g}$)
1	686	丁酸甲酯 butyric acid, methyl ester	$\text{C}_7\text{H}_{14}\text{O}_2$	0.38	0.120
2	711	2-甲基丙酸 propanoic acid, 2-methyl-	$\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_2$	0.43	0.135
3	721	2-甲基丁酸甲酯 methyl 2-methylbutyrate	$\text{C}_8\text{H}_{16}\text{O}_2$	1.14	0.359
4	777	2,4-二甲基戊醛 pentanal, 2,4-dimethyl-	$\text{C}_7\text{H}_{14}\text{O}$	0.09	0.029
5	785	甲基戊酸 pentanoic acid, methyl ester	$\text{C}_8\text{H}_{16}\text{O}_2$	0.05	0.015
6	806	己醛 hexanal	$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}$	1.17	0.370
7	811	2-甲基丁酸 butanoic acid, 2-methyl-	$\text{C}_7\text{H}_{14}\text{O}_2$	1.12	0.352
8	884	己酸甲酯 methyl caproate	$\text{C}_8\text{H}_{16}\text{O}_2$	0.54	0.170
9	886	乙酸戊酯 amyl acetate	$\text{C}_9\text{H}_{18}\text{O}_2$	0.02	0.005
10	888	6-甲基-2-庚酮 2-heptanone, 6-methyl-	$\text{C}_8\text{H}_{16}\text{O}$	0.05	0.015
11	905	庚醛 heptanal	$\text{C}_7\text{H}_{14}\text{O}$	0.04	0.012
12	918	(Z)-2-庚烯醛 2-heptenal, (Z)-	$\text{C}_7\text{H}_{12}\text{O}$	0.03	0.009
13	938	甲基庚烯酮 6-methyl-5-heptene-2-one	$\text{C}_8\text{H}_{14}\text{O}$	1.39	0.438
14	943	1-辛烯-3-酮 1-octen-3-one	$\text{C}_8\text{H}_{14}\text{O}$	0.12	0.038
15	964	6-甲基-5-庚烯基-2-醇 5-hepten-2-ol, 6-methyl-	$\text{C}_8\text{H}_{16}\text{O}$	0.11	0.035
16	973	2-乙酰环戊酮 2-acetylcyclopentanone	$\text{C}_7\text{H}_{10}\text{O}$	0.11	0.035
17	982	苯甲醛 benzaldehyde	$\text{C}_7\text{H}_6\text{O}$	0.35	0.111
18	984	乙酸己酯 scetic acid, hexyl ester	$\text{C}_8\text{H}_{16}\text{O}_2$	0.02	0.007
19	986	庚酸甲酯 heptanoic acid, methyl ester	$\text{C}_8\text{H}_{16}\text{O}_2$	0.02	0.006
20	995	3,5-辛二烯-2-醇 3,5-octadien-2-ol	$\text{C}_8\text{H}_{14}\text{O}$	0.13	0.040
21	1005	辛醛 octanal	$\text{C}_8\text{H}_{16}\text{O}$	0.13	0.042
22	1059	1,4-二甲氧基苯 1,4-dimethoxybenzene	$\text{C}_8\text{H}_{10}\text{O}_2$	0.89	0.282
23	1068	4-乙基环己醇 4-ethylcyclohexanol	$\text{C}_8\text{H}_{16}\text{O}$	0.21	0.066
24	1082	芳樟醇 linalool	$\text{C}_{10}\text{H}_{18}\text{O}$	0.02	0.007
25	1083	辛酸甲酯 octanoic acid, methyl ester	$\text{C}_9\text{H}_{18}\text{O}_2$	0.03	0.008
26	1088	4-乙酰基-1-甲基环己烯 4-acetyl-1-methylcyclohexene	$\text{C}_{11}\text{H}_{18}\text{O}$	0.14	0.045
27	1104	壬醛 nonanal	$\text{C}_9\text{H}_{18}\text{O}$	0.18	0.056
28	1214	正十二烷 duodecane	$\text{C}_{12}\text{H}_{26}$	0.17	0.053
29	1218	3-甲基-丁酸己酯 hexyl 3-methylbutanoate	$\text{C}_{11}\text{H}_{22}\text{O}_2$	0.05	0.016
30	1251	2-十一酮 2-undecanone	$\text{C}_{11}\text{H}_{22}\text{O}$	0.20	0.064
31	1252	6-十一酮 6-undecanone	$\text{C}_{11}\text{H}_{22}\text{O}$	0.02	0.007
32	1282	己酸戊酯 hexanoic acid, pentyl ester	$\text{C}_{11}\text{H}_{22}\text{O}_2$	0.05	0.017
33	1339	洒别烯 (+)-sativin	$\text{C}_{15}\text{H}_{24}$	2.36	0.651
34	1350	2-癸酮 2-decanone	$\text{C}_{10}\text{H}_{20}\text{O}$	0.18	0.057
35	1381	丁酸辛酯 octyl butyrate	$\text{C}_{12}\text{H}_{24}\text{O}_2$	0.04	0.012
36	1388	2-丁基-2-辛烯醛 2-butyl-2-octenal	$\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}$	0.08	0.025
37	1398	柏木烯 cedrene	$\text{C}_{15}\text{H}_{24}$	0.17	0.053

续表1

编号	保留指数	化合物名称	分子式	相对含量/%	含量/($\mu\text{g/g}$)
38	1398	β -雪松烯 β -cedrene	$\text{C}_{15}\text{H}_{24}$	7.58	2.386
39	1403	α -柏木烯 α -cedrene	$\text{C}_{15}\text{H}_{24}$	9.57	2.506
40	1403	α -雪松烯 α -cedrene	$\text{C}_{15}\text{H}_{24}$	1.40	0.441
41	1403	α -长叶蒎烯 α -longipinene	$\text{C}_{15}\text{H}_{24}$	0.06	0.018
42	1416	罗汉柏烯 thujopsene	$\text{C}_{15}\text{H}_{24}$	0.21	0.066
43	1425	β -广藿香烯 β -patchoulene	$\text{C}_{16}\text{H}_{24}$	12.41	3.910
44	1435	γ -伊兰油烯 γ -muurolene	$\text{C}_{15}\text{H}_{24}$	3.74	1.177
45	1449	二氢- β -紫罗兰酮 dihydro- β -ionone	$\text{C}_{15}\text{H}_{22}\text{O}$	0.14	0.044
46	1457	β -紫罗兰酮 β -ionone	$\text{C}_{15}\text{H}_{20}\text{O}$	0.03	0.011
47	1458	苯基己酸 phenyl caproate	$\text{C}_{12}\text{H}_{18}\text{O}_2$	0.06	0.020
48	1490	α -布藜烯 α -bunese	$\text{C}_{15}\text{H}_{24}$	6.72	2.117
49	1494	异丁子香烯 isocaryophyllene	$\text{C}_{15}\text{H}_{24}$	0.28	0.088
50	1500	β -红没药烯 β -bisabolene	$\text{C}_{15}\text{H}_{24}$	1.92	0.605
51	1507	β -花柏烯 β -chamigrene	$\text{C}_{15}\text{H}_{24}$	4.38	1.380
52	1511	罗汉柏烯-(12) thujopsene-(12)	$\text{C}_{15}\text{H}_{24}$	1.20	0.377
53	1512	α -恰米烯 α -chamigrene	$\text{C}_{15}\text{H}_{24}$	9.64	3.035
54	1518	α -红没药烯 α -bisabolene	$\text{C}_{15}\text{H}_{24}$	4.44	1.400
55	1536	斯巴醇 spathulenol	$\text{C}_{15}\text{H}_{24}\text{O}$	0.05	0.015
56	1574	马兜铃酮 aristolone	$\text{C}_{15}\text{H}_{22}\text{O}$	0.18	0.058
57	1581	长叶醛 longifolinaldehyde	$\text{C}_{15}\text{H}_{24}\text{O}$	0.55	0.175
58	1587	5-异长叶烯酮 isolongifolen-5-one	$\text{C}_{15}\text{H}_{22}\text{O}$	3.86	1.217
59	1646	柏木烯醇 β -cedren-13-ol	$\text{C}_{15}\text{H}_{24}\text{O}$	0.21	0.066
60	1668	二丁基羟基甲苯 butylated hydroxytoluene	$\text{C}_{15}\text{H}_{24}\text{O}$	0.30	0.095
61	1795	α -二异丙苯 α -dicumyl	$\text{C}_{18}\text{H}_{22}$	0.16	0.051
62	1864	2,4-二苯基-4-甲基-2-戊烯 2,4-diphenyl-4-methyl-2-pentene	$\text{C}_{18}\text{H}_{20}$	0.11	0.035
63	2009	二十碳烷 eicosane	$\text{C}_{20}\text{H}_{42}$	0.09	0.030
64	2013	棕榈酸异丙酯 isopropyl palmitate	$\text{C}_{19}\text{H}_{36}\text{O}_2$	0.08	0.026
65	2944	穿心莲内酯 andrographolide	$\text{C}_{20}\text{H}_{30}\text{O}_5$	0.17	0.051

图1为顶空-固相微萃取-气质联用对长裙竹荪蛋的挥发性成分进行提取和分析的GC-MS色谱图, 各组分的定性分析和定量计算结果见表1。由表1可知, 从长裙竹荪蛋样品中共鉴定出65种挥发性成分, 这些成分包括20种烃类、12种酯类、11种酮类、9种醛类、6种醇类、4种酸类、3种芳香族类。长裙竹荪蛋挥发性成分的定量分析结果表明, 其中相对含量大于3%的挥发性成分有 β -广藿香烯(12.41%)、 α -恰米烯(9.64%)、 α -柏木烯(9.57%)、 β -雪松烯(7.58%)、 α -布藜烯(6.72%)、 α -红没药烯(4.44%)、 β -花柏烯(4.38%)、5-异长叶烯酮(3.86%)和 γ -伊兰油烯(3.74%), 这些物质应该是长裙竹荪蛋中的主要挥发性成分。

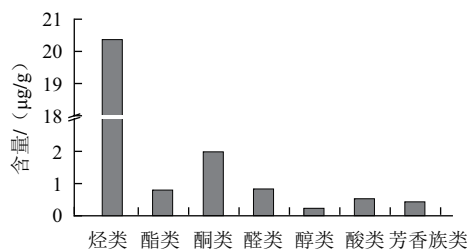


图2 长裙竹荪蛋的挥发性成分的比较

Fig.2 Comparison of different classes of volatile compounds in embryo of *Dictyophora indusiata* Fisch

由图2可知, 烃类是长裙竹荪蛋挥发性成分中检测到的含量最高和种类最丰富的一类物质, 其占整个挥发性成分的66.59%。烃类中含量最高的物质是 β -广藿香烯(3.910 $\mu\text{g/g}$), 其次分别为 α -恰米烯(3.035 $\mu\text{g/g}$)、 α -柏木烯(2.506 $\mu\text{g/g}$)、 β -雪松烯(2.386 $\mu\text{g/g}$)、 α -布藜烯(2.117 $\mu\text{g/g}$)等。

酮类物质的含量是长裙竹荪蛋挥发性成分中仅次于烃类的挥发性物质, 其含量占整个挥发性成分的6.28%。酮类中含量较高的物质有5-异长叶烯酮(1.217 $\mu\text{g/g}$)和甲基庚烯酮(0.438 $\mu\text{g/g}$)。

酯类物质的种类是鉴定出的挥发性成分中仅次于烃类的挥发性物质, 但其含量却较低, 其占整个挥发性成分的2.54%。酯类物质中含量较高的只有2-甲基丁酸甲酯(0.359 $\mu\text{g/g}$), 其他酯类物质的相对含量都小于1%。

长裙竹荪蛋挥发性成分中检测出的醛类物质的含量与酯类相近, 其占整个挥发性成分的2.62%。醛类物质中含量最高的是己醛(0.370 $\mu\text{g/g}$), 其次为长叶醛(0.175 $\mu\text{g/g}$)和苯甲醛(0.111 $\mu\text{g/g}$)。此外, 长裙竹荪蛋挥发性成分中检测到的酸类、芳香族类和醇类这3类物质的含量都较低, 其分别占整个挥发性成分的1.66%、1.35%和0.73%。

3 讨论

本实验对长裙竹荪蛋挥发性成分的顶空-固相微萃取-气质联用分析结果与陈曦等^[18]对长裙竹荪子实体干品挥发性成分的分析结果有较大差异, 他们通过同时蒸馏萃取-气相色谱-质谱联用技术共鉴定出70种化合物, 其中醛类10个、酮类13个、醇类5个、酚类4个、酯类4个、酸类5个、烃类12个、杂环类17个。在鉴定出的成分中含量较高的成分有异长叶烯酮(16%)、氢化紫罗兰酮(12.85%)、 β -绿叶烯(5.83%)、呋喃甲醛(5.55%)、苯乙醛(2.38%)等。造成这一结果差异的原因一方面可能是因为该实验采用同时蒸馏萃取法对长裙竹荪挥发性成分进行的提取, 而本实验采用的是顶空-固相微萃取对挥发性成分进行的提取, 说明不同的前处理提取方法对长裙竹荪挥发性成分的鉴定结果会产生差异。另一方面, 长裙竹荪蛋与长裙竹荪子实体两种不同食用部分的竹荪产品之间的挥发性成分也有可能会有较大差异。檀东飞等^[21-23]用水蒸气蒸馏法和溶剂萃取法结合气质联机对棘托竹荪不同部位(子实体、菌托、菌盖)的挥发油成分进行了研究, 结果表明棘托竹荪不同部位挥发油成分的组成也有较大差异。

对长裙竹荪蛋挥发性成分的鉴定结果中, β -广藿香烯、 α -恰米烯、 γ -伊兰油烯、洒别烯、 β -红没药烯、异丁子香烯等烯烃类化合物在以前的对长裙竹荪挥发性成分

的研究中鲜有报道,表明这些物质可能是长裙竹荪蛋中的特征性挥发成分。此外,长裙竹荪蛋挥发性成分的烃类物质中大部分是一些萜烯类物质,其中单萜及倍半萜大都带有浓郁的甜香、花香和木香,是各类果蔬和调味料的主要香气成分。陈曦等^[18]也报道长裙竹荪子实体中的顺-红没药烯具有木香、柑橘香、花香、果香等香气特征,这一结果说明长裙竹荪蛋中的萜烯类化合物可能是对长裙竹荪蛋风味贡献较多的化合物,对长裙竹荪蛋的整体气味轮廓有重要影响。

黄明泉等^[19]报道醛类物质(如己醛、糠醛、苯甲醛、苯乙醛等)对竹荪的香气成分有重要贡献。本实验从长裙竹荪蛋挥发性成分的共鉴定到9种醛类,由于醛类物质的阈值较低,所以醛类物质也可能对长裙竹荪蛋的风味有重要影响。醛类物质中含量最高己醛具有生的油脂、青草及苹果香味,天然存在于许多水果和蔬菜中^[24]。苯甲醛具有花香和果香,也是一种广泛存在水果和蔬菜中的香气成分^[25]。所以,长裙竹荪蛋挥发性成分中的醛类物质(己醛、长叶醛、苯甲醛、壬醛、辛醛、庚醛等)对其香气成分可能也有重要的贡献。此外,陈曦等^[18]在长裙竹荪子实体干品挥发性成分中也检测到了较高含量的5-异长叶烯酮,说明5-异长叶烯酮在长裙竹荪子实体和胚体中都是主要的挥发性成分。

4 结 论

通过顶空-固相微萃取-气质联用分析对长裙竹荪蛋的主要挥发性成分进行分析,共鉴定出65种挥发性物质,包括20种烃类、12种酯类、11种酮类、9种醛类、6种醇类、4种酸类、3种芳香族类,其中主要的挥发性成分有 β -广藿香烯、 α -恰米烯、 α -柏木烯、 β -雪松烯、 α -布黎烯、 α -红没药烯、 β -花柏烯、5-异长叶烯酮、 γ -伊兰油烯等。烃类是长裙竹荪蛋挥发性成分中检测到的含量最高和种类最丰富的一类物质,其占整个挥发性成分的66.59%,表明烃类化合物是长裙竹荪蛋的主要挥发性成分,对长裙竹荪蛋的整体气味轮廓有重要影响。但长裙竹荪蛋挥发性成分中的特征和活性香气成分还有待通过气相色谱-嗅觉测量技术进行进一步的分析和鉴别。

参考文献:

- [1] 中华本草[M]. 上海:上海科学技术出版社,1999:602.
- [2] 罗盛莲,游霞,丁聪聪,等.长裙竹荪和棘托竹荪的抑菌作用及其化学成分研究[J].食品工业科技,2012,33(12):70-73.
- [3] 郭渝南,刘晓玲,范娟.竹荪的营养与药用功效[J].食用菌,2004(4):44-45.
- [4] 林陈强,陈济琛,林戎斌,等.竹荪资源综合利用研究进展[J].中国食用菌,2011,30(2):8-11.

- [5] LEE I K, YUN B S, HAN G, et al. Dictyoquinazols A, B, and C, new neuroprotective compounds from the mushroom *Dictyophora indusiata*[J]. Journal of Natural Products, 2002, 65(12): 1769-1772.
- [6] WANG H X, NG T B. A novel ribonuclease from the veiled lady mushroom *Dictyophora indusiata*[J]. Biochemistry and Cell Biology-Biochimie et Biologie Cellulaire, 2003, 81(6): 373-377.
- [7] SHARMA V K, CHOI J, SHARMA N, et al. *In vitro* anti-tyrosinase activity of 5-(hydroxymethyl)-2-furfural isolated from *Dictyophora indusiata*[J]. Phytotherapy Research, 2004, 18(10): 841-844.
- [8] 陈敬华, 胡准, 郑化, 等. 长裙竹荪正己烷提取物化学组成及抑菌活性研究[J]. 天然产物研究与开发, 2012, 24(7): 905-909.
- [9] 林玉满. 长裙竹荪多糖Di-S2P的分离纯化和鉴定[J]. 中国食用菌, 2003, 22(12): 40-42.
- [10] WANG Jiatang, XU Xiaojuan, ZHENG Hua, et al. Structural characterization, chain conformation, and morphology of a beta-(1->3)-D-glucan isolated from the fruiting body of *Dictyophora indusiata*[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2009, 57(13): 5918-5924.
- [11] HUA Yanglin, GAO Qing, WEN Lingrong, et al. Structural characterisation of acid- and alkali-soluble polysaccharides in the fruiting body of *Dictyophora indusiata* and their immunomodulatory activities[J]. Food Chemistry, 2012, 132(2): 739-743.
- [12] HUA Yanglin, YANG Bao, TANG Jian, et al. Structural analysis of water-soluble polysaccharides in the fruiting body of *Dictyophora indusiata* and their *in vivo* antioxidant activities[J]. Carbohydrate Polymers, 2012, 87(1): 343-347.
- [13] DENG Chao, HU Zhun, FU Haitian, et al. Chemical analysis and antioxidant activity *in vitro* of a beta-D-glucan isolated from *Dictyophora indusiata*[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2012, 51(1/2): 70-75.
- [14] 郝景雯, 张刚, 韩慧, 等. 长裙竹荪乙醇提取工艺及抑菌作用研究[J]. 食品工业科技, 2008, 29(10): 123-124.
- [15] 卢惠妮, 潘迎捷, 赵勇, 等. 长裙竹荪子实体抑菌活性的研究[J]. 天然产物研究与开发, 2011, 23(2): 324-327.
- [16] HUANG Mingquan, CHEN Xi, TIAN Hongyu, et al. Isolation and identification of antibiotic albaflavone from *Dictyophora indusiata* (Vent:Pers.) Fischer[J]. Journal of Chemical Research, 2011, 11: 659-660.
- [17] 曹爽, 孙晓红, 陈燕, 等. 微量肉汤稀释法测定长裙竹荪多种提取物对食品中常见细菌的抑制效果[J]. 食品工业科技, 2013, 34(7): 106-108.
- [18] 陈曦, 黄明泉, 孙宝国, 等. 同时蒸馏萃取-气相色谱-质谱联用分析长裙竹荪挥发性成分[J]. 食品科学, 2012, 33(14): 129-134.
- [19] 黄明泉, 田红玉, 孙宝国. 同时蒸馏萃取-气质联用分析竹荪挥发性成分[J]. 食品科学, 2011, 32(2): 205-212.
- [20] 张玉玉, 黄明泉, 田红玉, 等. GC-MS定量分析传统小麦酱中的挥发性成分[J]. 食品科学, 2012, 33(16): 100-105.
- [21] 檀东飞, 吴若菁, 梁鸣. 棘托竹荪挥发油化学成分及抑菌作用的研究[J]. 菌物系统, 2002, 21(2): 228-233.
- [22] 檀东飞, 黄儒珠, 卢真. 棘托竹荪菌托的化学成分及抑菌活性研究(I)[J]. 菌物学报, 2006, 25(4): 603-610.
- [23] 檀东飞, 黄儒珠, 卢真. 棘托竹荪菌盖的化学成分及抑菌作用研究(II)[J]. 微生物学杂志, 2007, 27(6): 8-12.
- [24] JANES D, KANTAR D, KREFT S, et al. Identification of buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) aroma compounds with GC-MS[J]. Food Chemistry, 2009, 112(1): 120-124.
- [25] RADULOVIC N S, DORDEVIC A S, ZLATKOVIC B K, et al. GC-MS analyses of flower ether extracts of *Prunus domestica* L. and *Prunus padus* L. (Rosaceae)[J]. Chemical Papers, 2009, 63(4): 377-384.