

黔产白鬼笔不同部位提取物的成分分析

李文力¹, 黎璐¹, 汤洪敏^{1,2,*}

(1. 贵州民族大学化学与环境科学学院, 贵州 贵阳 550025; 2. 贵州民族大学 贵州民族医药研究院, 贵州 贵阳 550025)

摘要: 目的: 通过黔产白鬼笔子实体干品的菌盖、菌柄、菌托3个部位石油醚和乙醇提取物的化学成分研究, 寻找并拓展白鬼笔的利用价值。方法: 在常温条件下先后用石油醚和乙醇分别对白鬼笔的3个部位进行超声提取, 应用气相色谱-质谱联用仪对提取物的化学成分进行研究, 气相色谱柱为HP-INNOWAX极性柱, 程序升温条件为: 60℃保持2 min, 以10℃/min升至160℃, 保持6 min, 以3℃/min升至220℃, 保持17 min, 用NIST 08谱库进行成分比对。结果: 2种提取物共检出67种成分, 其中66种成分在白鬼笔的研究中尚未见报道。石油醚提取物共检出35种成分, 菌盖、菌柄、菌托3个部分分别检测出24、18、18种成分。乙醇提取物共检出38种成分, 菌盖、菌柄、菌托3个部位分别检测出26、28、12种成分。结论: 从白鬼笔中检出的顺,顺-9,12-十八碳二烯酸、二丁基羟基甲苯、邻苯二甲酸二异丁酯、异山梨醇、1,2-环戊二酮、 α -吡咯烷酮、烟酰胺、9,12-十八碳二烯酸乙酯等具利用价值的成分可为白鬼笔3个部位的开发利用提供科学依据。

关键词: 白鬼笔; 石油醚提取物; 乙醇提取物; 气相色谱-质谱联用仪

Chemical Composition Analysis of Extracts from Different Parts of *Phallus impudicus* L. Growing in Guizhou Province

LI Wenli¹, LI Lu¹, TANG Hongmin^{1,2,*}

(1. College of Chemistry and Environmental Science, Guizhou Minzu University, Guiyang 550025, China;

2. Guizhou Institute of Ethnic Medicine, Guizhou Minzu University, Guiyang 550025, China)

Abstract: Objective: To find out and expand the utilization potential of *Phallus impudicus* L. by analyzing the chemical composition of petroleum ether and ethanol extracts from its pileus, stipe and volva. Methods: The volatile components of the pileus, stipe and volva of *Phallus impudicus* L. were obtained by successive extraction with petroleum ether and ethanol under room temperature (25–30℃). The chemical composition of each extract was identified by gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) using a polar column HP-INNOWAX. Temperature programming was as follows: initial temperature was set to 60℃ hold for 2 min, followed by an increase of 10℃/min to 160℃ held for 6 min, and another increase of 3℃/min to 220℃ held for 17 min. The spectra were compared with those published in the mass spectral library NIST 08. Results: A total of 67 volatile components were identified from the two different solvent extracts of *Phallus impudicus* L., 66 compounds of which were first reported in this study. A total of 35 compounds were extracted with petroleum ether from *Phallus impudicus* L., 24, 18 and 18 of which were identified from the extracts of pileus, stipe and volva, respectively. A total of 38 components were extracted from *Phallus impudicus* L. including 26, 28 and 12 compounds identified from the extracts of pileus, stipe and volva, respectively. Conclusions: The presence of 9,12-octadecadienoic acid (Z,Z)-, butylated hydroxytoluene, 1,2-benzenedicarboxylic acid, bis (2-methylpropyl) ester, isosorbide, 1,2-cyclopentanedione, 2-pyrrolidinone, niacinamide, 9,12-octadecadienoic acid, and ethyl ester can provide the scientific basis for reasonable utilization of *Phallus impudicus* L..

Key words: *Phallus impudicus* L.; petroleum ether extract; ethanol extract; gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS)

DOI:10.7506/spkx1002-6630-201602012

中图分类号: Q501

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630 (2016) 02-0072-05

引文格式:

李文力, 黎璐, 汤洪敏. 黔产白鬼笔不同部位提取物的成分分析[J]. 食品科学, 2016, 37(2): 72-76. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201602012. <http://www.spkx.net.cn>

LI Wenli, LI Lu, TANG Hongmin. Chemical composition analysis of extracts from different parts of *Phallus impudicus* L. growing in Guizhou province[J]. Food Science, 2016, 37(2): 72-76. (in Chinese with English abstract) DOI:10.7506/spkx1002-6630-201602012. <http://www.spkx.net.cn>

收稿日期: 2015-03-30

基金项目: 国家自然科学基金地区科学基金项目 (31160013); 贵州省科技厅项目 (黔科合J字LKM[2013]01号)

作者简介: 李文力 (1970—), 男, 讲师, 学士, 研究方向为分析化学。E-mail: xzkyc@mail.gznc.edu.cn

*通信作者: 汤洪敏 (1969—), 女, 教授, 博士, 研究方向为生物化学与分子生物学。E-mail: tanghm@gzmu.edu.cn

药食兼用真菌是指能治疗疾病,具药用价值的一类真菌,能产生氨基酸、蛋白质、维生素、多糖、苷类等多种物质^[1]。其化学研究起步较晚,不如高等植物化学研究深入,由于真菌代谢产物具有独特的化学结构及生理活性,加上近年化学结构测定方法的应用,使真菌中的成分不断被发掘,研究^[1]显示部分药食兼用真菌的化学成分具有抗肿瘤、调节免疫力、抗放射与促进骨髓造血、保肝、调节心血管系统等作用,因此对药食兼用真菌的研究不仅能为寻找高效、低毒副作用的新药做出一定贡献,还能将药食兼用真菌开发为具有一定营养价值及保健功效的食疗产品,满足日益旺盛的天然保健品市场的需求。

白鬼笔(*Phallus impudicus* L.)属鬼笔目(Phalliales)、鬼笔科(Phallaceae)、鬼笔属(*Phallus*)真菌,与竹荪属(*Dictyophora* Desv)同一个科,其中白鬼笔以及短裙竹荪(*Dictyophora duplicata* (Bosc.) Fisch.)、长裙竹荪(*Dictyophora indusiata* (Vent. Pers.) Fisch.)都是著名的药食兼用真菌。在中国通常把白鬼笔菌盖和菌托去掉后,取菌柄部位煎汁作为食品短期的防腐剂;菌柄部位入药可治风湿症,有活血祛痛作用^[2],还具有抗癌活性^[3-4];中世纪时,白鬼笔用于治疗痛风,并作为激发性欲药食用^[5]。目前有关白鬼笔的研究有品种鉴定、亲缘关系及生化特性^[4-8]、培养^[9-10]、挥发性成分研究^[11-13]、抗凝血^[14]、消水肿^[15]等方面;目前已检出的白鬼笔成分如Borgkarlson等^[12]用气相色谱-质谱联用仪测定白鬼笔菌柄鲜品的戊烷提取物,色谱柱为DB-WAX及DB-5,检出成分为月桂烯、 α -蒎烯、 α -金合欢烯、甲苯、苯甲醛、苯甲醇、乙酸、二甲基二硫、芳樟醇、2-苯乙醇、二甲基三硫、反-罗勒烯、苯乙醛;菊地徹等^[13]用硅胶柱对白鬼笔菌盖的乙醚提取物进行分离,用气相色谱-质谱联用仪进行检测,色谱柱为2% Thermon-3000,除检出上述苯乙醛、苯甲醛、苯甲醇3种成分外,还检出了苯甲醚、紫苏烯、乙酸、邻苯二甲醚、邻甲氧基苯酚、 β -苯乙醇、苯酚7种成分。

白鬼笔的折干率仅为5%左右,可食用部分不足30%^[16],近七成菌托和孢子体采摘后丢弃,同科的竹荪属部分真菌的菌托中含有丰富的氨基酸、维生素以及多糖等物质,其多糖物质有抗肿瘤作用^[19-20]。目前竹荪属的研究较多且深入,鬼笔属的成分研究较少,且因年代久远,实验条件有限,测出成分并不全面。加上大部分食用菌多在春、夏、秋三季生长,而白鬼笔则在生长食用菌产量较低的深秋,因此开发白鬼笔作为常用的食用菌可弥补常见食用菌在深秋产量较低的缺点。本实验拟对未见诸报道的白鬼笔菌盖、菌柄、菌托3个部位的成分进行对比性研究,对3个部位先后用石油醚及无水乙醇进行提取,用气相色谱-质谱联用仪检测其成分,通过更换色

谱柱、调整升温程序等优化峰形,分析检出物功效,研究结果拟为寻找白鬼笔菌盖、菌托的利用价值、拓展白鬼笔的合理利用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

白鬼笔菌蛋鲜品采于贵州省都匀市斗篷山村,装于无菌瓶中于4℃条件下保存。经贵州民族大学化学与环境科学学院汤洪敏教授鉴定为白鬼笔;石油醚(分析纯,沸程60~90℃)、无水乙醇(分析纯) 成都金山化学试剂有限公司;针筒式滤膜过滤器(有机系,直径13 mm,孔径0.45 μ m) 上海兴亚净化材料厂。

1.2 仪器与设备

BM252C搅拌机 广州美的精品电器制造有限公司; KQ-1000超声波清洗器 昆山市超声仪器有限公司; RE-52AA旋转蒸发器 上海亚荣生化仪器厂; 6890A-5975C气相色谱-质谱联用仪、HP-INNOWAX毛细管柱 美国安捷伦科技有限公司。

1.3 方法

1.3.1 化学成分的提取

将保存2 d的白鬼笔菌蛋鲜品置于室温条件下,滴少量水,待菌蛋完全长开后将菌盖、菌柄、菌托分离,并于40℃烘至恒质量,搅拌器粉碎,各取6 g,分别用100 mL石油醚浸泡,于超声波提取器中进行超声提取,条件为:超声波频率40 kHz、处理时间30 min、处理温度30℃;减压浓缩得石油醚提取物,重复3次,合并提取物;残渣用无水乙醇分别进行提取,用量及操作同石油醚,得乙醇提取物。

1.3.2 化学成分的鉴定

用少量石油醚、无水乙醇分别溶解所得3个部位石油醚提取物、乙醇提取物,用过滤器分别抽取1 mL,置于进样瓶中进样,用气相色谱-质谱联用仪进行测定。

1.3.3 气相色谱条件

HP-INNOWAX极性柱(30 m \times 0.32 mm, 0.25 μ m);进样口温度260℃;柱箱温度220℃;程序升温:60℃保持2 min,以10℃/min升至160℃,保持6 min,以3℃/min升至220℃,保持17 min;载气(He)流速1.3 mL/min;进样量1.0 μ L;分流比10:1。

1.3.4 质谱条件

电子电离源;电子能量70 eV,离子源温度230℃;四极杆温度150℃;石油醚提取物溶剂延迟时间4 min;乙醇提取物溶剂延迟时间8 min;质量扫描范围 m/z 50~500。

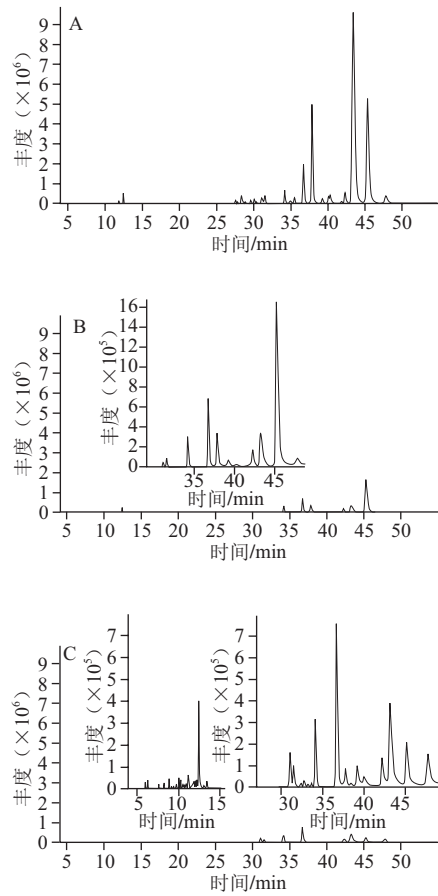
1.4 数据处理

通过NIST 08谱库对各组分质谱数据进行检索,筛选

匹配度在80%以上成分，并经人工解析，确定各组分，含量用气相色谱峰面积归一化法计算，用Microsoft Excel 2003软件对数据进行编辑。

2 结果与分析

黔产白鬼笔3个部位石油醚提取物及乙醇提取物的气相色谱分别见图1、2。黔产白鬼笔3个部位石油醚提取物及乙醇提取物的化学成分检测结果分别见表1、2。



A.菌盖; B.菌柄; C.菌托; 图2同。因B、C丰度较小，图B、C中小图为峰形的放大图。

图1 白鬼笔3个部位石油醚提取物气相色谱对比图

Fig.1 GC chromatograms of petroleum ether extracts from three parts of *Phallus impudicus* L.

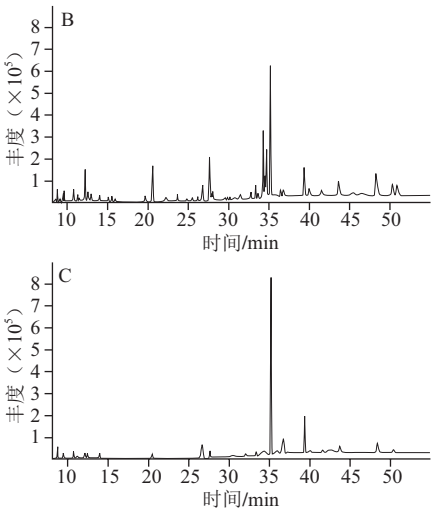
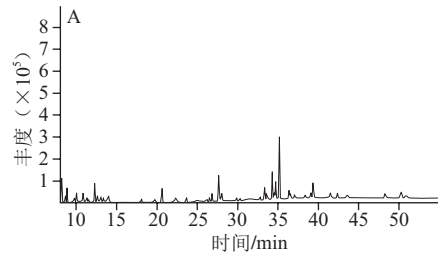


图2 白鬼笔3个部位乙醇提取物气相色谱对比图

Fig.2 GC chromatograms of ethyl alcohol extracts from three parts of *Phallus impudicus* L.

表1 白鬼笔3个部位石油醚提取物化学成分鉴定

Table 1 Chemical composition of petroleum ether extracts from three parts of *Phallus impudicus* L.

类别	序号	保留时间/min	化学成分	相对峰面积/%			功效	是否为风味物质
				菌盖	菌柄	菌托		
醇类 (2种)	1	33.764	二十二烷醇 behenic alcohol	0.21				
	2	37.590	八乙二醇 octaethylene glycol	0.71	1.59			
			小计	0.21	0.71	1.59		
醚类 (1种)	3	35.542	八(乙二醇)-(十二烷基)醚 octaethylene glycol monododecyl ether	0.59				
			小计	0.59				
芳香烃类 (1种)	4	12.493	二丁基羟基甲苯 butylated hydroxytoluene	0.50	1.31	4.95	抗氧化剂 ^[9]	
			小计	0.50	1.31	4.95		
烷烃 (7种)	5	6.367	十四烷 tetradecane	0.15	0.47			
	6	7.682	十五烷 pentadecane	0.17				
	7	8.907	十六烷 hexadecane	0.20	0.60			
	8	10.083	十七烷 heptadecane	0.13	0.49			
	9	11.187	十八烷 octadecane	0.14	0.52			
	10	12.262	十九烷 nonadecane		0.41			
	11	13.457	二十烷 eicosane		0.34			
			小计	0.79	2.83			
烯烃 (1种)	12	34.989	1-十九碳烯 1-nonadecene	0.61				
			小计	0.61				
	13	22.194	十六烷酸二异丁酯 hexadecanoic acid, 2-methylpropyl ester	0.10				
	14	22.476	9-十六碳烯酸正丙酯 n-propyl 9-hexadecenoate	0.23				
	15	25.177	9-十六碳烯酸丁酯 butyl 9-hexadecenoate	0.31				
	16	27.608	顺-9-十八碳烯酸甲酯 9-octadecenoic acid (Z)-, methyl ester	0.82				
	17	28.381	油酸癸酯 decyl oleate	0.94				
	18	28.903	9,12-十八碳二烯酸正丙酯 n-propyl 9,12-octadecadienoate	0.32				
	19	29.646	9,12-十八碳二烯酸丁酯 butyl 9,12-octadecadienoate	0.45				
	20	30.098	9-十八碳烯酸丁酯 butyl 9-octadecenoate or 9-18:1	0.57				

续表1

类别	序号	保留 时间/min	化学成分	相对峰面积/%			功效	是否为风 味物质
				菌盖	菌柄	菌托		
酯类 (10种)	21	31.123	邻苯二甲酸二丁酯 dibutyl phthalate	0.68		5.28		
	22	47.804	异丁酸十三酯 isobutyric acid, tridecyl ester		1.09			
			小计	4.42	1.09	5.28		
饱和 (6种)	23	11.880	己酸 hexanoic acid	0.16	0.54			是
	24	31.544	十四烷酸 tetradecanoic acid	1.23	2.59	4.04		
	25	34.206	十五烷酸 pentadecanoic acid	1.62	6.32	9.86		
	26	36.757	十六烷酸 n-hexadecanoic acid	4.43	12.39	23.34		
	27	39.237	十七烷酸 heptadecanoic acid	0.55	0.67	2.82		
	28	42.321	十八烷酸 octadecanoic acid	1.78	4.12	4.39		
脂肪 族羧酸 (13种)			小计	9.77	25.96	41.63		
	29	35.532	14-十五碳烯酸 14-pentadecenoic acid	0.78				
	30	37.882	顺-9-十六碳烯酸 cis-9-hexadecenoic acid	11.39	6.57	3.08		
	31	40.322	顺-10-十七碳烯酸 cis-10-heptadecenoic acid	1.89				
	32	43.456	6-十八碳烯酸 6-octadecenoic acid	44.94	11.23	19.50		
	33	47.814	十八碳烯酸 oleic acid			7.25		
单不饱和 (6种)	34	47.834	顺-18-十九碳烯酸 18-nonadecenoic acid	1.46				
			小计	60.46	18.47	32.65		
	35	45.364	顺,顺-9,12-十八碳二烯酸 9,12-octadecadienoic acid (Z,Z)-	20.68	49.24	8.45		人体必需脂肪酸 ^[20]
			小计	20.68	49.24	8.45		
			总计	96.65	96.86	95.79		

如表1所示,石油醚提取物共检出35种成分,菌盖检出24种,菌柄检出18种,菌托检出18种,成分在有关白鬼笔的研究中未见诸报道。菌盖、菌柄、菌托的石油醚提取物的检出量分别占其总量的96.65%、96.86%、95.79%。脂肪酸所占比例最高,检出量分别占3个部位峰面积的90.91%、93.67%、82.73%,不饱和脂肪酸检出量分别占3个部位峰面积的81.14%、67.71%、41.10%。3个部位中均检出的二丁基羟基甲苯(butylated hydroxytoluene, BHT), BHT为脂溶性酚类抗氧化剂,作为食品添加剂能延迟食物的酸败,食物中最大使用量为0.02%^[19],菌盖、菌柄、菌托中的BHT检出量呈递增趋势,说明菌托具有较强的抗氧化力;顺,顺-9,12-十八碳二烯酸检出量分别占3个部位提取物总峰面积的20.68%、49.24%、8.45%,该成分属人体必需脂肪酸之一,存在于多种食用植物油中,可促进饱和脂肪酸及由其所衍生的脂类、胆甾醇等在血液中的运行,以减少沉积在血管壁上的可能性,达到防止动脉硬化的目的^[20];黎璐等^[23]测定出长裙竹荪中,菌盖、菌柄、菌托3个部位的石油醚提取物中顺,顺-9,12-十八碳二烯酸的分别占总峰面积的36.58%、21.40%、33.81%,由此可见白鬼笔富含不饱和脂肪酸,且并不比竹荪中的含量低,白鬼笔具有较大的保健功效。

表2 白鬼笔3个部位乙醇提取物化学成分鉴定 Table 2 Chemical composition of ethyl alcohol extracts from three parts of <i>Phallus impudicus</i> L.								
分类	序号	保留 时间/ min	化学成分	相对峰面积/%			功效	是否 为风味 物质
				菌盖	菌柄	菌托		
醇类 (9种)	1	8.137	1-己醇 1-hexanol	0.15				是
	2	9.543	1-庚醇 1-heptanol	0.84	0.50	0.46		是
	3	10.799	1-壬醇 1-nonanol			0.38		是
	4	12.245	2-呋喃甲醇 2-furanmethanol	2.82	2.33			是
	5	13.058	5-甲基-2-呋喃甲醇 2-furanmethanol, 5-methyl-	0.54	0.45			
	6	26.707	二缩甘露醇 dianhydromannitol		1.54			
	7	36.348	反-9-十六碳烯-1-醇 hexadecen-1-ol, trans-9-	3.03				
	8	36.750	异山梨醇 isosorbide		1.11	11.02	口服利尿药 ^[22]	
	9	42.404	1-十七烷醇 n-heptadecanol-1	1.65				
醛类 (3种)			小计	9.04	5.92	11.86		
	10	11.301	5-甲基糠醛 2-furancarboxaldehyde, 5-methyl-	0.42	0.61			是
	11	12.195	苯乙醛 benzeneacetaldehyde			0.99		是
	12	34.299	5-羟甲基糠醛 2-furancarboxaldehyde, 5-(hydroxymethyl)-	9.52	10.32			
酮类 (4种)			小计	9.94	10.93	0.99		
	13	12.666	1-甲基- α -吡咯烷酮 2-pyrrolidinone, 1-methyl-		0.17			
	14	13.992	1,2-环戊二酮 1,2-cyclopentanedione	1.11	0.53	0.93		
	15	20.631	α -吡咯烷酮 2-pyrrolidinone	4.71	5.52			
杂环 化合物 (5种)	16	27.641	2,3-二氢-3,5-二羟基-6-甲基-4H-吡喃-4-酮 4H-pyran-4-one, 2,3-dihydro-3,5-dihydroxy-6-methyl-	9.22	7.04	1.53	激活、保护和修复脑细胞 ^[23]	
			小计	15.05	13.26	2.46		
	17	13.319	四氢吡喃 tetrahydropyran	0.63				是
	18	26.214	1-丁基-哌啶 piperidine, 1-butyl-		0.74			
	19	34.530	4-乙烯基咪唑 4-vinyl-imidazole	2.94	3.98			
酸酐 (1种)	20	50.338	烟酰胺 niacinamide	4.50	3.41		治疗舌炎、皮炎 ^[24]	
	21	37.151	羟基毒芹碱 conhydrin	1.08				
			小计	9.16	8.13			
	22	19.686	戊二酸酐 2H-pyran-2,6(3H)-dione	1.22				
酯类 (1种)			小计	1.22				
	23	8.619	十四烷 tetradecane	1.02				
			小计	1.02				
	24	12.124	丁内酯 butyrolactone		0.66			
脂类 (10种)	25	20.520	DL-泛酰内酯 2(3H)-furanone, dihydro-3-hydroxy-4,4-dimethyl-	2.61	1.47	0.68		
	26	23.684	十五酸乙酯 pentadecanoic acid, ethyl ester	1.14	0.78			
	27	26.817	十六酸乙酯 hexadecanoic acid, ethyl ester	2.31	2.30	1.24		是
	28	28.042	9-十六碳烯酸乙酯 ethyl 9-hexadecenoate	1.98	1.09			
	29	32.803	十八烷酸甲酯 octadecanoic acid, ethyl ester		0.78			
	30	33.365	(Z)-9-十八烯酸乙酯 ethyl oleate	5.07	2.40			
脂肪酸 (5种)	31	34.711	9,12-十八碳二烯酸乙酯 9,12-octadecadienoic acid, ethyl ester	5.83	6.50			
			邻苯二甲酸二异丁酯 1,2-benzenedicarboxylic acid, bis(2-methylpropyl) ester	18.47	17.84	40.89	避避剂 ^[25]	
	32	35.183	邻苯二甲酸二丁酯 dibutyl phthalate	4.68	4.22	9.17		
			小计	42.10	38.03	51.98		
	34	15.549	己酸 hexanoic acid	0.51				是
	35	39.973	十四烷酸 tetradecanoic acid		0.84			
单不饱和 (1种)	36	43.609	十五烷酸 pentadecanoic acid		2.89	1.97		
	37	48.269	十六烷酸 n-hexadecanoic acid		6.30	4.04		
			小计	0.51	10.04	6.01		
	38	50.870	顺-11-十六烯酸 hexadecenoic acid, Z-11-		3.36			
总计			小计		3.36			
			总计	88.04	89.67	73.30		

如表2所示,乙醇提取物共检出38种成分,菌盖检出26种,菌柄检出28种,菌托检出12种,除苯乙醛外,成分在白鬼笔的研究中未见诸报道。菌盖、菌柄、菌托的乙醇提取物的检出量分别占其总量的88.04%、89.67%、73.30%。酯类含量最高,检出量分别占总峰面积的42.10%、38.03%、51.98%,其中又以邻苯二甲酸二异丁酯(1,2-benzenedicarboxylic acid, bis(2-methylpropyl) ester, DIBP)以及邻苯二甲酸二丁酯(dibutyl phthalate, DBP)的含量最高,二者在2种提取物中均被检出,乙醇提取物中2种物质的检出量总和分别为23.15%、22.06%、50.06%,DIBP及DBP属于邻苯二甲酸酯类(phthalate esters, PAEs)物质,是一种趋避剂^[25]及雌性激素^[26];菌托的乙醇提取物中PAEs的相对峰面积占总峰面积的一半,这或许能解释白鬼笔在生长过程中不被爬行类昆虫蚕食。我国除部分地区使用白鬼笔菌蛋白酒外,大部分地区在采摘白鬼笔菌柄后将菌托丢弃,可以考虑将白鬼笔菌托制成驱避剂加以利用。值得注意的是,在乙醇提取物中,异山梨醇在菌柄及菌托中被检出,分别占检出量的1.11%、11.02%,用于治疗脑水肿及青光眼。异山梨醇是一种有效的渗透性口服脱水利尿药,在国外已经应用于临床^[22];另一物质 α -吡咯烷酮,检出量分别占菌盖、菌柄峰面积的4.71%、5.52%,为脑康复药品的主要成分,为氨基酸的同类物,具有激活、保护和修复脑细胞的作用,能改善脑缺氧、活化大脑细胞、提高大脑中ATP/ADP比值,提高学习记忆及思维活动的能力^[23]。

3 结 论

本实验对黔产白鬼笔的菌盖、菌柄、菌托3个部位的石油醚提取物及乙醇提取物共检出67种化学成分。除苯乙醛外,其余66种成分在有关白鬼笔的研究中未见报道。其中检测出的BHT、顺,顺-9,12-十八碳二烯酸、异山梨醇、 α -吡咯烷酮、烟酰胺、DIBP及DBP等成分具有一定的功效,根据这些成分在3个部位中含量的高低,将菌盖及菌柄作为食用,具有一定保健作用;菌托可以考虑制作为爬行类昆虫的趋避剂,白鬼笔在采摘后被丢弃的菌托部位可以据此进行回收利用。

检测出的风味物质共有9种,分别是己酸、苯乙醛、5-甲基糠醛^[27]、1-己醇、1-庚醇、1-辛醇、1-壬醇、2-呋喃甲醇、十六酸乙酯^[28],这些成分有可能构成了白鬼笔独特的白萝卜清香的风味。

参考文献:

[1] 徐锦堂. 中国药用真菌学[M]. 北京: 北京医科大学, 中国协和医科大学联合出版社, 1997: 3; 159.

[2] 卯晓岚. 中国大型真菌[M]. 郑州: 河南科学技术出版社, 1984: 524.

[3] KUZNECOVS S, KUZNECOVA G. *Phallus impudicus* in treatment of Lewis lung carcinoma[J]. International Journal of Cancer, 2002: 421.

[4] 李泰辉, 宋斌, 吴兴亮, 等. 滇黔桂鬼笔科研究[J]. 贵州科学, 2004, 22(1): 80-89.

[5] ZEITLMAYR L. Wild mushrooms: an illustrated handbook[M]. Hertfordshire: Garden City Press, 1976.

[6] GULL K. Meiosis, basidiospore development and post-meiotic mitosis in the basidiomycete, *Phallus impudicus*[J]. Archives of Microbiology, 1981, 128(4): 403-406. DOI:10.1007/BF00405921.

[7] 姜守忠. 贵州鬼笔属研究初报[J]. 贵州师范大学学报(自然科学版), 1986, 1(5): 42-44.

[8] 邓旺秋, 宋斌, 林群英, 等. 短裙竹荪和白鬼笔18S rDNA部分序列及其系统学意义[J]. 菌物研究, 2004, 2(1): 35-39.

[9] 李能章, 李能武, 邱荣蓉, 等. 白鬼笔菌蕾的生长发育及出菇条件初探[J]. 生物学杂志, 2006, 26(5): 22; 41-42.

[10] 葛台明. 白鬼笔组织分离制种[J]. 食用菌, 1989(5): 17.

[11] LIST P H, FREUND B. Methylmercaptane and hydrogen sulfide odorous substances of stink-morel (*Phallus impudicus*)[J]. Naturwissenschaften, 1967, 54(2): 648.

[12] BORGKARLSON A K, ENGLUND F O, UNELIUS C R. Dimethyl oligosulphides, major volatiles released from *Sauromatum guttatum* and *Phallus impudicus*[J]. Phytochemistry, 1994, 35(2): 321-323.

[13] 菊地徹, 門田重利, 田中謙, 等. Odorous metabolites of an acellular slime mold, *Physarum Polycephalum* Schw. and a basidiomycete, *Phallus impudicus* Pers.[J]. Chemical and Pharmaceutical Bulletin, 1984, 32(2): 797-800.

[14] KUZNECOVA G, JEGINA K, KUZNECOVS S, et al. *Phallus impudicus* in thromboprophylaxis in breast cancer patients undergoing chemotherapy and hormonal treatment[J]. The Breast, 2007, 16(Suppl 1): 56.

[15] KUZNECOVA G, KUZNECOVS I, JEGINA K, et al. 8167 POSTER Lymphedema prevention and management with *Phallus impudicus*: six-years survey after breast cancer treatment[J]. European Journal of Cancer Supplements, 2007, 5(4): 457.

[16] 桂阳, 龚光禄, 卢颖颖, 等. 白鬼笔出菇特性研究[J]. 食用菌, 2013(3): 12-14.

[17] 屠六邦, 李昌荣. 竹荪菌体、菌托、菌盖的营养价值及利用[J]. 江苏食用菌, 1990(2): 13-14.

[18] 赵凯, 王飞娟, 潘薛波, 等. 红托竹荪菌托多糖的提取及抗肿瘤活性的初步研究[J]. 菌物学报, 2008, 27(2): 289-296.

[19] 国家质量监督检验检疫总局, 国家标准化管理委员会. GB 1900—2010 食品添加剂: 二丁基羟基甲苯(BHT)[S].

[20] 林非凡, 谭竹钧. 亚麻籽油中 α -亚麻酸降血脂功能研究[J]. 中国油脂, 2012, 37(9): 44-47.

[21] 黎璐, 吕昱, 汤洪敏. 长裙竹荪3部分石油醚提取物的对比[J]. 食品科学, 2014, 35(6): 73-77. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201406015.

[22] 朱虹, 李春虎, 牟新东. 异山梨醇的制备及应用研究进展[J]. 现代化工, 2011(增刊1): 68-71.

[23] 石联. α -吡咯烷酮的应用与开发进展[J]. 化工中间体, 2003(5): 19-21.

[24] 李钟玉, 李临生. 烟酸、烟酰胺的研究进展[J]. 化工时刊, 2003, 17(2): 6-9.

[25] STALES C A, PETERSON D R, PARKERTON T F, et al. The environmental fate of phthalate esters: a literature review[J]. Chemosphere, 1997, 35(4): 667-749.

[26] 陈荣圻. 邻苯二甲酸酯及其环保增塑剂的代用品开发[J]. 印染助剂, 2012, 28(12): 1-8.

[27] 黄明泉, 孙宝国, 田红玉, 等. 棘托竹荪蛋中的挥发性成分分析研究[J]. 食品工业科技, 2012, 33(7): 353-357.

[28] 党亚丽. 金华火腿和巴马火腿风味研究[D]. 无锡: 江南大学, 2009: 51.