

木兰科含笑属含笑组 3 种植物叶的挥发性化学成分研究

马惠芬¹, 司马永康^{1*}, 张 达², 杨冀寅², 徐 涛²

(1. 云南省林业科学院 云南省森林植物培育与开发利用重点实验室, 国家林业局云南珍稀濒危特森林植物保护和繁育实验室, 云南 昆明 650201; 2. 云南大学 生命科学学院, 云南 昆明 650091)

摘 要:采用同时蒸馏萃取法(SDE)分别提取 2 月份采摘的峨眉含笑、南亚含笑、毛果含笑叶片的挥发油,运用毛细管气相色谱-质谱联用法结合计算机检索分析其化学组成。结果表明,峨眉含笑、南亚含笑、毛果含笑叶片经 SDE 提取所得挥发油共分离鉴定出 42 种挥发性化合物,其中峨眉含笑 28 种、毛果含笑 20 种、南亚含笑 29 种,分别占挥发性物质总含量的 83.54%、88.15%和 92.58%。3 种挥发油化学组成各有异同,3 种植物共有的化合物有 α -愈创木烯、匙叶桉油醇、c-木罗烯、绿叶烯、马兜铃烯、 α -胡椒烯、1(10),4-杜松二烯、反式-去氢白菖烯、tau-杜松醇、tau-木罗醇和 α -杜松醇等 11 种。这 3 种植物挥发油中富含大量在香料和医药行业有重要用途的高生物活性化合物。从组分多度相似百分率的分析结果看,峨眉含笑与毛果含笑的组分多度相似百分率为 41.33%,处于极近似水平,挥发性化学成分的组成关系较密切,而南亚含笑与毛果含笑以及与峨眉含笑的组分多度相似百分率分别为 30.19%和 29.73%,处于较近似水平,组成关系相对较疏远。

关键词:峨眉含笑;南亚含笑;毛果含笑;挥发油;气相色谱-质谱联用

中图分类号:Q946.85

文献标志码:A

文章编号:1001-7461(2019)04-0212-05

Chemical Constituents of the Volatile Oils from the Leaves of Three *Michelia* Species

MA Hui-fen¹, SIMA Yong-kang^{1*}, ZHANG Da², YANG Ji-yin², XU Tao²

(1. Yunnan Provincial Key Laboratory for Cultivation and Exploitation of Forest Plants, Yunnan Laboratory for Conservation of Rare, Endangered & Endemic Forest Plants, State Forestry Administration, Yunnan Academy of Forestry, Kunming 650201, Yunnan, China; 2. College of Life Science, Yunnan University, Kunming 650091, Yunnan, China)

Abstract: In order to find out the values for exploitation and utilization, the constituents of volatile oils extracted with SDE from the leaves of *Michelia wilsonii*, *M. doltsopa* and *M. sphaerantha*, which were collected in February, were analyzed by GC-MS technique. Forty-two compounds were identified, of which 28 compounds from *M. wilsonii*, 20 from *M. sphaerantha*, 29 from *M. doltsopa*, accounting for 83.54%, 88.15% and 92.58% of the total peak areas, respectively. There were similarities and differences in chemical constituents among three oils. The common constituents that existed in three oils were α -guaiene, patchoulene, (-)-aristolene, ζ -muurolene, α -copaene, cadina-1(10), 4-diene, trans-calamenene, τ -cadinol, τ -muurolol, spathulenol and α -cadinol. The results indicated that three oils were abundant in bioactive compounds with very important values for perfume and medicine industry. The percentage of the similarity in chemical constituents between *M. wilsonii* and *M. sphaerantha* was 41.33%, in a very approximate level, indicating the close relationship in chemical constituents, between *M. doltsopa* and *M. sphaerantha*, it was 30.19%, and between *M. doltsopa* and *M. wilsonii*, it was 29.73%, at similar levels, indicating relatively distant relationships.

收稿日期:2018-06-13 修回日期:2018-10-09

基金项目:国家自然科学基金地区项目(3176018);云南省森林植物培育与开发利用重点实验室开放基金(ZZCX2017-02)。

作者简介:马惠芬,女,副研究员,研究方向:植物化学和资源植物学。E-mail:mahf_2004@126.com

*通信作者:司马永康,男,研究员,博士,研究方向:木兰科植物分类学和保护生物学。E-mail:simayk@163.com

Key words: *Michelia wilsonii*; *Michelia sphaerantha*; *Michelia doltsova*; volatile oil; gas chromatography-mass spectrometry

峨眉含笑(*Michelia wilsonii*)是木兰科(Magnoliaceae)含笑属(*Michelia*)小乔木,高可达 8 m。在四川盆地边缘和湖北西部地区海拔 700~1 600 m 的森林中有分布^[1]。喜温润、日照少、雨量充沛、多云雾的气候环境,多长于土质疏松肥沃、湿润且排水好的阴坡、半阴坡。花期 3—5 月,果熟 8—9 月,被列为国家二级保护植物^[2]。

毛果含笑(*Michelia sphaerantha*),又名球花含笑,是木兰科含笑属的一种常绿乔木,稀有种,国家二级保护植物,被列入《全国珍贵树种培育基地建设工程规划》(云南省部分)的乡土树种。毛果含笑的树姿优美,花香宜人,树叶、聚合果亦各具特色,是一种观赏价值很高的园林绿化树种。分布于云南中部至西部,生长在海拔 1 100~2 100 m 的常绿阔叶林中^[1-2]。

南亚含笑(*Michelia doltsova*)是木兰科含笑属常绿乔木,高可达 30 m。叶椭圆形,长圆状椭圆形,狭卵状椭圆形花被片白色,3 月开花,11 月结果^[1]。分布于云南东南部至西部和西藏南部至东南部,生于海拔 1 300~2 700 m 的山地阔叶林中^[1]。

目前对这 3 种植物的挥发性化学成分的报道极少,根据司马永康^[3-4]的分类新修订,峨眉含笑、南亚含笑和毛果含笑都属于木兰科含笑属含笑亚组含笑系植物,本文对这 3 种植物的挥发性化学成分进行研究,为该植物的开发利用提供科学依据,同时通过相似性和特征成分分析^[5]这 3 种植物的挥发性化学成分,以期为该属植物的分类研究提供新的思路。

1 材料与方 法

1.1 仪器、材料和试剂

试验材料 2017 年 2 月采摘于云南省昆明树木园,由云南省林业科学院研究员司马永康博士鉴定为木兰科含笑属峨眉含笑、毛果含笑和南亚含笑,原植物凭证标本(司马永康 98268、司马永康 97161、司马永康 98237)保存于国家林业局云南珍稀濒危特森林植物保护和繁育实验室标本馆(YCP)。分析过程中所用的溶剂为北京百灵威公司生产色谱纯正己烷,分析仪器为 Trace1310-ISQ 气相色谱-质谱联用仪(美国赛默飞公司)。

1.2 挥发性化学成分的提取

峨眉含笑、毛果含笑和南亚含笑的鲜叶各 100 g,剪碎后分别放入 1 000 mL 磨口圆底烧瓶,加入 500 mL 蒸馏水,另取 200 mL 磨口圆底烧瓶加入 40

mL 色谱纯正己烷,同时蒸馏萃取(SDE)装置的两端分别连接 2 个烧瓶,接通循环冷却水,烧瓶用加热套加热至微沸并保持 4 h,取下正己烷瓶,倒入分液漏斗静置冷却 0.5 h,分离后的正己烷溶液加入 10%左右的无水硫酸钠,静置,过滤除去硫酸钠,所得溶液经浓缩后供试。

1.3 气相色谱-质谱测定条件

GC 条件:TR-1 MS 石英毛细管柱(30 mm×0.25 mm×0.25 μm);程序升温:40℃保持 5 min,先以 3℃/min 的速度升到 180℃,保持 5 min,再以 10℃/min 的速度升到 250℃,保持 5 min。溶剂延迟时间为 4 min,柱流量为 1.5 mL/min,进样口温度 200℃,柱前压 100 kPa,进样量 2 μL,分流比 50:1,载气为高纯氦气。

MS 条件:电压 1.5 kV,电离方式 EI,离子源温度 230℃,传输线温度 280℃,质量扫描范围 40~300,检索定性采用 NIST 标准谱库。

1.4 相似性分析

司马永康^[6]等的组分多度相似相异百分率计算公式为:

$$SP = \frac{\sum [1 - |x_k - y_k| / (x_k + y_k)] / n}{1 - \sum [|x_k - y_k| / (x_k + y_k)] / n}$$

本文组分多度相似性分析根据以上公式进行。

2 结果与分析

2.1 叶挥发性化学成分

SDE 装置提取得到峨眉含笑,毛果含笑和南亚含笑叶片的挥发性油通过 GC-MS 分析,综合 NIST 标准质谱库检索、人工解析谱图和查对相关资 料,为挥发性成分定性,各组分的相对百分含量采用面积归一化法计算,结果详见表 1。3 个植物共分离鉴定出 42 种挥发性化合物,其中峨眉含笑 28 种、毛果含笑 20 种、南亚含笑 29 种,分别占挥发性物质总含量的 83.54%、88.15%和 92.58%。表 1 中含量较小且谱库检索相似度<75%的组分,不能定性的化合物定义为其他。

本研究采用同时蒸馏萃取法提取的 3 种含笑属植物挥发油主要由单萜烯类、倍半萜烯及其含氧衍生物组成。其中,峨眉含笑的主要挥发性化学成分为 1(10),4-杜松二烯(17.8%)、1,3-Benzodioxole,4-Methoxy-6-(2-propeny)-(14.76%)、α-杜松醇(5.35%)、马兜铃烯(5.12%)、α-花柏烯(4.25%)、匙叶桉油醇(3.66%)、1H-Cyclopropa[a]naphtha-

lene,1a α ,2,3,3a,4,5,6,7b-octahydro-1,1,3a α ,7- 合物。毛果含笑的主要挥发性化学成分有 1,3-
tetramethyl-(3.57%)、 δ -芹子烯(3.30%)等 28 种化 Benzodioxole,4-Methoxy-6-(2-propeny)-(23.99%)、

表 1 3 种含笑组挥发性成分分析结果

Table 1 GC-MS analysis results of the constituents of leaf volatile oil of three *Michelia* species

保留时间 /min	分子式	分子量	化合物	峰面积百分比/% 相似度/%		
				峨眉含笑	毛果含笑	南亚含笑
16.72	C ₁₀ H ₁₆	136	α -罗勒烯	0.69/82		
16.98	C ₁₀ H ₁₆	136	α -蒎烯			1.23/90
17.87	C ₁₀ H ₁₆	136	莜烯	1.33/77		1.81/78
19.34	C ₁₀ H ₁₆	136	α -水芹烯			9.51/79
19.53	C ₁₀ H ₁₆	136	三环烯	0.83/87		7.91/80
22.51	C ₁₀ H ₁₆	136	D-柠檬烯	0.80/80		
22.90	C ₁₀ H ₁₆	136	桉油醇	2.40/88		
24.07	C ₁₀ H ₁₆	136	1R- α -蒎烯			2.95/85
24.11	C ₁₀ H ₁₆	136	c-蒎品烯			0.82/90
27.19	C ₁₀ H ₁₈ O	154	α -芳樟醇		5.33/91	1.92/82
36.78	C ₁₂ H ₂₀ O ₂	196	乙酸龙脑酯			8.89/84
38.70	C ₁₅ H ₂₄	204	罗汉柏烯(12)			0.68/75
41.37	C ₁₅ H ₂₄	204	α -愈创木烯	1.71/86	1.60/80	6.48/80
42.15	C ₁₅ H ₂₄	204	1H-Cyclopropa[a]naphthalene,1a α ,2,3,3a,4,5,6,7b α -octahydro-1,1,3a α ,7-tetramethyl-	3.57/82	3.68/84	
42.79	C ₁₅ H ₂₄	204	马兜铃烯(-)	5.12/87	3.80/83	1.42/83
42.87	C ₁₅ H ₂₄	204	长叶烯	2.92/83		
42.90	C ₁₅ H ₂₄	204	石竹烯		2.76/79	4.95/94
44.50	C ₁₅ H ₂₆	206	绿叶烯	1.11/78	1.73/76	0.75/86
45.32	C ₁₅ H ₂₄	204	ζ -木罗烯	1.49/79	1.63/83	1.36/86
45.68	C ₁₅ H ₂₄	204	α -胡椒烯	2.65/83	2.32/84	1.25/88
45.85	C ₁₅ H ₂₄	204	3,7(11)-芹子二烯		2.92/86	
45.90	C ₁₅ H ₂₄	204	δ -芹子烯	3.30/86		
46.12	C ₁₅ H ₂₄	204	α -布黎烯	2.45/80		
46.37	C ₁₅ H ₂₄	204	α -花柏烯	4.25/81		2.34/81
46.42	C ₁₅ H ₂₄	204	α -木罗烯		4.10/85	6.04/89
46.46	C ₁₅ H ₂₄	204	ζ -榄香烯	1.39/79		
46.85	C ₁₁ H ₁₂ O ₃	192	1,3-Benzodioxole,4-Methoxy-6-(2-propenyl)-	14.76/87	23.99/92	
47.05	C ₁₅ H ₂₄	204	1(10),4-杜松二烯	17.80/82	18.39/91	18.12/88
47.44	C ₁₅ H ₂₄	204	反式-去氢白菖烯	2.60/83	3.96/85	0.91/76
47.89	C ₁₅ H ₂₄	204	α -葎澄茄烯	1.67/82		0.47/81
48.78	C ₁₅ H ₂₄	204	4(14),7(11)-桉叶二烯	1.60/76	1.40/82	
48.98	C ₁₅ H ₂₄	204	α -菖蒲醇	1.53/79		0.50/80
49.03	C ₁₅ H ₂₆ O	222	苍术醇		3.21/83	
49.22	C ₁₅ H ₂₄	204	异石竹烯			1.85/83
50.37	C ₁₅ H ₂₅ O	220	匙叶桉油醇	3.66/91	3.70/88	6.74/86
50.99	C ₁₅ H ₂₆ O	222	蓝桉醇	1.05/80		
51.01	C ₁₅ H ₂₆ O	222	沉香螺醇		1.61/76	0.65/77
52.17	C ₁₅ H ₂₆ O	222	. gama.-桉叶醇			0.83/76
52.53	C ₁₅ H ₂₄	204	表圆线藻烯	1.06/83		0.63/75
52.90	C ₁₅ H ₂₆ O	222	. tau-杜松醇	1.80/91	2.02/89	1.57/87
53.05	C ₁₅ H ₂₆ O	222	. tau-木罗醇	2.04/90	2.71/86	1.26/80
53.65	C ₁₅ H ₂₆ O	222	α -杜松醇	5.35/93	5.21/94	2.41/87
			其他	16.46	11.85	7.42
			合计	100	100	100

1(10),4-杜松二烯(18.39%)、 α -芳樟醇(5.33%)、 α -杜松醇(5.21%)、 α -木罗烯(4.10%)、反式-去氢白菖烯(3.96%)、马兜铃烯(3.80%)、匙叶桉油醇(3.70%)、1H-Cyclopropa[a]naphthalene, $\alpha\alpha$, 2, 3, 3a, 4, 5, 6, 7b- octahydro-1, 1, 3a α , 7-tetramethyl-(3.68%)、苍术醇(3.21%)等 20 种化合物。南亚含笑的主要挥发性化学成分为 1(10),4-杜松二烯(18.12%)、 α -水芹烯(9.51%)、乙酸龙脑酯(8.89%)、三环烯(7.91%)、匙叶桉油醇(6.74%)、 α -愈创木烯(6.48%)、 α -木罗烯(6.04%)、石竹烯(4.95%)等 29 种化合物。

2.2 种的相似性

根据组分多度相似百分率计算,这 3 种含笑属植物间挥发性物质组分多度相似百分率的结果见表 2。本文采用司马永康^[6]等 12 级组分多度相似等级标准,40<SP≤50 为极近似,30<SP≤40 为很近似。峨眉含笑与毛果含笑的组分多度相似百分率为 41.33%,处于极近似水平,挥发性化学成分的组成关系较密切,而南亚含笑与毛果含笑以及与峨眉含笑的组分多度相似百分率分别为 30.19% 和 29.73%,基本处于较近似水平,组成关系相对疏远。

表 2 含笑组 3 种植物的叶挥发性化学成分

组分多度相似百分率

Table 2 The similarity percentage of component abundance of three *Michelia* species %

种类	峨眉含笑	毛果含笑	南亚含笑
峨眉含笑	100.00		
毛果含笑	41.33	100.00	
南亚含笑	29.73	30.19	100.00

3 结论与讨论

3.1 叶挥发性化学成分组成特征

根据本研究结果(表 1),3 种植物共有的化合物有 α -愈创木烯、匙叶桉油醇、 c -木罗烯、马兜铃烯、绿叶烯、 α -胡椒烯、1(10),4-杜松二烯、反式-去氢白菖烯、 τ -杜松醇、 τ -木罗醇和 α -杜松醇等 11 种。其中,有多少种成分为木兰科含笑属含笑亚组含笑系的特征化合物,还需要进一步证实。

峨眉含笑有 δ -芹子烯、 α -布黎烯、长叶烯、D-柠檬烯、 α -罗勒烯、蓝桉醇、桉油醇等 7 种独有化合物;毛果含笑有 3,7(11)-芹子二烯、苍术醇等 2 种独有化合物;南亚含笑有 α -蒎烯、 α -水芹烯、1R- α -蒎烯、乙酸龙脑酯、 γ -桉叶醇等 5 种独有化合物。这些独有化合物能否作为各自的指纹化合物,还需在更大范围种类间比较确定。

3.2 系统分类学意义

利用精油成分和含量差异对植物进行分类有一

定的意义。目前,系统开展木兰科植物化学分类的研究不多,已有的研究表明化学分类与传统分类有统一也有很多分歧。傅大立^[7]等通过对 10 种玉兰属(*Yulania*)植物的挥发油成分的组成和含量的差异研究,得到椭圆叶玉兰与河南玉兰有较近的亲缘关系的结论。李石生^[8]等基于化学成分研究结果,认为化学分类学角度支持北美鹅掌楸与鹅掌楸亲缘关系十分接近或相似的观点,无必要独立成科,分亚科为好;而合果木属似无分属的必要。钟瑞敏^[9]等对南岭自然保护区内野生的毛桃木莲、乳源木莲、乐昌含笑、金叶含笑和深山含笑等 5 种木兰科芳香植物精油进行了化学成分对比鉴定。发现毛桃木莲和乳源木莲精油在基本化学组分构成上非常相似,证明它们的植物亲缘关系非常近。而乐昌含笑和金叶含笑精油的主要成分为倍半萜类,深山含笑精油的主要成分则是单萜烯类,构成这 3 种含笑属芳香精油的化学组分明显不一致。樊二齐^[10]等通过对 6 种木兰科植物精油成分的聚类分析,根据精油成分的有无可把 6 种植物分为 2 大类:第 1 类是华木莲和木莲,它们的精油主要成分都是单萜和倍半萜类,且分布的一致性较高,但它们的相似性没有另 4 种植物精油的相似性高。第 2 类是白玉兰、乐东拟单性木兰、观光木和鹅掌楸。其中鹅掌楸和白玉兰的化学成分最相似,先聚成一类,再相继与观光木和乐东拟单性木兰聚类。

从本文组分多度相似百分率的分析结果看,峨眉含笑与毛果含笑的相似性明显高于与南亚含笑的相似性,是否说明峨眉含笑与毛果含笑的亲缘关系更近,还需要结合更多的其他学科数据来评价。

结合文献分析,使用植物挥发性成分来对木兰科植物进行分类与传统结果不完全相符,但也有相一致的部分。因此,以植物挥发性成分的研究来与传统系统分类学进行相互印证比较,是一个有意思的研究方向。但是,利用木兰科植物挥发性成分的有无判断物种间亲缘关系是否可靠,植物化学分类应当使用植物的哪个部位,哪种类型的化合物来进行还需要更多的实验数据来研究和判断。

3.3 叶挥发性化学成分用途和开发利用前景

刘芳^[11]等的研究表明,峨眉含笑精油对大肠杆菌(*Escherichia coli*)和金黄色葡萄球菌(*Staphylococcus aureus*)均有一定的抑制作用,峨眉含笑适宜作为城市森林生态保健型绿化树种。林佳^[12]等从毛果含笑地上部分分离出了具有较强抗癌活性的化合物含笑内酯,毛果含笑具有较高的医药开发价值。

本研究采用同时蒸馏萃取法提取、GC/MS 联用测定得出了峨眉含笑,毛果含笑和南亚含笑等 3

种木兰科含笑属亚组含笑系植物叶片的挥发性化学成分,其中含有种类丰富的萜类物质,部分已经被证明有良好的药用价值,如榄香烯、石竹烯和. tau-杜松醇^[13-16],有一些被使用为香料剂如 α -芳樟醇、桉油醇等,而相当一部分萜类物质目前尚不清楚其生物活性,有待探究。因此本试验对深入研究该属植物的化学成分组成和该属植物的系统分类学研究有一定参考意义。

参考文献:

- [1] 刘玉壶,吴蓉芬. 木兰科中国植物志编委会. 中国植物志,30(1) [M]. 北京:科学出版社,1996:162,159,184.
- [2] 高正清. 乡土观赏植物毛果含笑栽培技术[J]. 现代农业科技, 2009(23):217,219.
- [3] 司马永康. 木兰科植物的分类学修订[D]. 昆明,云南大学, 2011.
- [4] SIMA Y K, LU S G. A new system for the family magnoliaceae—Proceedings of the Second International Symposium on the Family Magnoliaceae[M]. Wuhan: Huazhong Univ. Sci. Tech. Press, 2012:055-071.
- [5] 刘顺治,李清芸,林金国,等. 基于抽提液成分分析的黄檀属和紫檀属红木的鉴别[J]. 西北林学院学报, 2016, 31(2): 264-267.
LIU S Z, LI Q Y, LIN J G, *et al.* Identification of six rosewoods in dalbergia genus and pterocarpus genus based on the composition analysis of their extractives[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2016, 31(2): 264-267. (in Chinese)
- [6] 司马永康,吴新盛,李克明. 组分多度的相似相异百分率[J]. 云南林业科技, 2000(2): 20-23.
SIMA Y K, WU X S, LI K M. The similarity and dissimilarity-percentage of component abundance[J]. Yunnan Forestry Science and Technology, 2000(2): 20-23. (in Chinese)
- [7] 傅大立,赵东欣,孙金花,等. 10种国产玉兰属植物挥发油成分及系统学意义[J]. 林业科学, 2005, 41(3): 68-74.
FU D L, ZHAO D X, SUN J H, *et al.* Component of volatile oils in 10 Chinese species of *Yulania* genus and its phylogenetic implication [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2005, 41(3): 68-74. (in Chinese)
- [8] 李石生,谭宁华,周俊,等. 木兰科植物鹅掌楸和合果木的化学成分及其分类学意义[J]. 云南植物研究, 2001, 23(1): 115-120.
LI S S, TAN N H, ZHOU J, *et al.* Phytochemical and chemotaxonomic studies on *Liriodendron chinense* and *Paramichelia baillonii* (Magnoliaceae)[J]. Acta Botanica Yunnanica, 2001, 23(1): 115-120. (in Chinese)
- [9] 钟瑞敏,曾庆孝,张振明,等. 气质联用结合保留指数对比在五种木兰科芳香精油成分鉴定中的应用[J]. 分析测试学报, 2006, 25(5): 16-20.
ZHONG R M, ZENG Q X, ZHANG Z M, *et al.* Application of GC-MS combined with Kovats retention indices to identify the composition of five Magnoliaceae species in the essential oils [J]. Journal of Instrumental Analysis, 2006, 25(5): 16-20. (in Chinese)
- [10] 樊二齐,王云华,郭叶,等. 6种木兰科植物叶片精油的气质联用(GC-MS)分析[J]. 浙江农林大学学报, 2012, 29(2): 307-312.
FAN E Q, WANG Y H, GUO Y, *et al.* Chemical components of essential oils from leaves of six Magnoliaceae species using GC-MS [J]. Journal of Zhejiang Forestry College, 2012, 29(2): 307-312. (in Chinese)
- [11] 刘芳,曾郑祥,李仲芳. 峨眉含笑精油抑菌作用研究[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(10): 4074-4075.
LIU F, ZENG Z X, LI Z F. Research on the bacteriostasis effect of refined oil of *Michelia wilsonii* Finet et Gagnep [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2008, 36(10): 4074-4075. (in Chinese)
- [12] 林佳,郝小江. 毛果含笑的化学成分[J]. 药学学报, 1999, 34(3): 203-206.
LIN J, HAO X J. Chemical components of *Michelia paerantha* C. Y. Wu [J]. Acta Pharmaceutica Sinica, 1999, 34(3): 203-206. (in Chinese)
- [13] 马惠芬,司马永康,郝佳波,等. 3种含笑属植物叶片挥发油化学成分的比较研究[J]. 西部林业科学, 2012, 41(2): 77-81.
MA H F, SIMA Y K, HAO J B, *et al.* A comparative study on the chemical components of the volatile oils from three *Michelia* species [J]. Journal of West China Forestry Science, 2012, 41(2): 77-81. (in Chinese)
- [14] 林元相,康德智,苏东辉,等. β -榄香烯体外诱导大鼠神经胶质瘤细胞热休克蛋白70的表达及肿瘤细胞的凋亡[J]. 中国中西医结合杂志, 2005, 25(6): 103-107.
LIN Y X, KANG D Z, SU D H, *et al.* Effect of β -elemene in inducing HSP70 expression and cell apoptosis in neuroglia-cytoma cells of rats *in vitro* [J]. Chinese Journal of Integrated Traditional and Western Medicine, 2005, 25(6): 103-107. (in Chinese)
- [15] 郁建平,刘兴宽,古练权,等. 贵州金丝桃挥发油成分及抗菌活性研究[J]. 中国药理学杂志, 2002, 37(12): 900-902.
YU J P, LIU X K, GU L Q, *et al.* Analysis of chemical constituents and bacteriostasis of the essential oils from the *Hypericum kouytcheouense* [J]. Chinese Pharmaceutical Journal, 2002, 37(12): 900-902. (in Chinese)
- [16] 吕迪,王得祥,谢小洋,等. 油松释放萜烯类挥发性成分研究[J]. 西北林学院学报, 2016, 31(1): 231-237.
LYU D, WANG D X, XIE X Y, *et al.* Terpene volatile components released from *Pinus tabulae formi* [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2016, 31(1): 231-237. (in Chinese)