

# 杉木心材精油抑菌活性及其化学成分研究\*

叶舟 林文雄\*\* 陈伟 俞新妥

(<sup>1</sup> 福建农林大学生命科学学院, 福州 350002)

**【摘要】** 通过水蒸气蒸馏法提取杉木心材精油, 并进行柱层析分离、气-质联用分析和抑菌活性试验, 比较分析了精油含量、化学组成和抑菌活性成分. 结果表明, 杉木心材精油含量为 1.794~2.076(w/w); 气-质联用分析共分离出 47 个色谱峰, 鉴定出 27 个化合物(占精油总量的 99%), 其中主要成分为柏木脑(76.27%); 杉木心材精油对大肠杆菌、金黄色葡萄球菌、枯草芽孢杆菌、伤寒沙门氏菌等均有较明显的抑制作用; 柏木脑是杉木精油的主要抑菌活性成分.

**关键词** 杉木 精油 抑菌活性 柏木脑

**文章编号** 1001-9332(2005)12-2394-05 **中图分类号** Q599;S78 **文献标识码** A

**Chemical components and antimicrobial activity of essential oils in *Cunninghamia lanceolata* heartwood.** YE Zhou, LIN Wenxiong, CHEN Wei, YU Xintuo (College of Life Science, Fujian Agricultural and Forestry University, Fuzhou 350002, China). -*Chin. J. Appl. Ecol.*, 2005, 16(12): 2394~2398.

In this study, the essential oils in *Cunninghamia lanceolata* heartwood were water-steam distilled, and their chemical components were analyzed by column chromatography and GC-MS, with their antimicrobial activity tested. The results showed that the essential oils content was 1.794~2.076 (w/w), and 47 peaks were separated. 27 compounds, accounted for 99% of crude essential oils, were identified. The essential oils had an obvious antimicrobial activity against *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Bacillus subtilis* and *Salmonella typhi*, and cedrol, occupying 76.27% of essential oils, was the major component with antimicrobial activity.

**Key words** *Cunninghamia lanceolata*, Essential oils, Antimicrobial activity, Cedrol.

## 1 引言

杉木(*Cunninghamia lanceolata*)为常绿乔木, 树高可达 30 m 以上, 具有生长快、材质好、用途广、产量高等优点, 主要分布在我国秦岭、大别山以南各省, 为我国南方林区重要的造林树种, 木材产量约占全国商品木材的 1/5~1/4. 杉木既是我国用材林、水源涵养林的重要树种, 又是特用经济树种, 营造杉木林具有较高的社会、生态和经济效益. 福建是我国杉木的主要分布区域和商品材主产区, 杉木资源  $19.0 \times 10^5$  hm<sup>2</sup>, 蓄积量达  $1.6 \times 10^8$  m<sup>3</sup>, 占全国的 1/6. 面积占全国的 1/10. 木材生产采伐作业后, 在山场上有大量的采伐剩余物未能得到充分利用. 此外, 由于杉木心材部含有较多的精油, 精油中存在影响食用菌生长的不利成分. 这就影响了制材加工过程中所产生的大量杉木木屑在食用菌栽培生产领域的直接利用<sup>[19]</sup>.

自 20 世纪初起, 国内外学者对植物提取物的化学成分、生物活性等进行了大量的研究<sup>[3, 7, 13, 15~18, 22, 23, 27]</sup>. 对杉木精油化学成分的研究表明, 成分鉴定的结果受杉木产地、分析条件等多种

因素的影响, 存在较大差异<sup>[1, 9, 10, 14, 19, 25]</sup>. 对杉木精油生物活性的研究表明, 杉木精油中的柏木脑(Cedrol)是杉木精油抗蚁、抗螨、抗菌的主要活性成分<sup>[24]</sup>. 杉木精油中含有 1.24% 的  $\alpha$ -杜松醇( $\alpha$ -cadinol), 具有较强的抗螨活性<sup>[9]</sup>. 福建闽北属于杉木中心产区, 是“建木”的故乡, 其种源(产地)是“杉木生长, 材性兼优的种源区”<sup>[12]</sup>. 对该地区杉木心材精油主要化学成分及生物活性的研究, 具有重要的意义.

针对福建省林区木材生产加工的现状, 从有利于杉木采伐加工剩余废料的多层次开发利用考虑, 以闽北产杉木为材料, 报道了杉木心材精油的提取、杉木精油对水、空气和食品中常见菌的抑菌生物活性以及杉木心材精油的化学成分, 为杉木精油在抑菌、抗菌领域应用技术的开发提供科学依据.

## 2 材料与方法

### 2.1 供试材料

选用 35 年生杉木心材(采自福建省来舟林场)为供试材

\* 国家自然科学基金项目(30471028)和福建省科技资助项目(99-1-6、20011033).

\*\* 通讯联系人.

2005-06-20 收稿, 2005-10-18 接受.

料,将杉木心材劈成 8~10 cm 长的细条,电动粉碎机粉碎装瓶备用.杉木板材表面针状结晶试验样收集于杉木板材表面.

供试菌种为大肠杆菌(*Escherichia coli* G<sup>-</sup>)、金黄色葡萄球菌(*Staphylococcus aureus* G<sup>+</sup>)、黑曲霉(*Aspergillus niger*)、枯草芽孢杆菌(*Bacillus subtilis*)、毛霉(*Mucor*)和伤寒沙门氏菌(*Salmonella typhi*).细菌培养基采用牛肉膏蛋白胨培养基,真菌培养基采用 PDA 培养基.以上菌种及培养基配方均由福建农林大学食品科学学院微生物教研室提供.

## 2.2 研究方法

**2.2.1 杉木心材精油含量测定** 称取经初步粉碎的杉木心材新鲜材料样,用挥发油含量测定装置<sup>[20]</sup>测定试样中精油含量,并考察提取时间对精油提取率的影响;将初步粉碎的杉木心材新鲜材料样以水蒸气蒸馏装置蒸馏提取、收集杉木精油,用无水硫酸钠干燥后瓶装于 4 ℃ 下保藏备用;收集混有木屑的杉木板材表面针状结晶物,用水蒸气蒸馏装置蒸馏分离收集该结晶物.

**2.2.2 杉木心材精油成分测定** 采用美国安捷伦 Agilent 6890N/5973 气质联用仪(GC/MS)对试样成分进行色谱-质谱-计算机联用分析.

气相色谱分析的色谱柱:HP-5MS, 30 m × 0.25 mm, 0.25 μm 甲基硅酮毛细管柱,进样口温度 250 ℃,柱室温度 90 ℃(保持 2 min)~240 ℃(保持 5 min)(采用程序升温,1 min 升 5 ℃),分离比:50:1,载气:He,流量为 1.2 ml·min<sup>-1</sup>,进样量 1 μl.自动进样,样品准备 0.00103 g·ml<sup>-1</sup>,乙酸乙酯稀释 10 倍.

质谱条件:电离方式 EI,电子能量 70 eV,离子源温度 230 ℃,连接线温度 150 ℃,扫描范围 30~500 amu.

数据处理与质谱检索:采用气质联用仪计算机的 NIST02 谱库,自动检索分析组分的质谱数据,并对全部检索结果参考有关标准图谱进行核对和补充检索,经色谱峰面积归一法,计算其组分的百分含量,未进行响应因子校正.

**2.2.3 杉木心材精油抑菌活性测定** 采用纸片扩散法<sup>[26]</sup>,分别称取一定量的杉木心材精油,加入丙酮稀释成为 1%、5%、20% 的梯度溶液供试样.无菌条件下,将圆滤纸片(d=6 mm)浸入已配制好的试样丙酮液中,取出自然风干后,贴到涂抹适宜菌液浓度菌悬液的培养基平板上,每皿(d=9 cm)5 片,各供试液 3 个重复,分在 3 个培养皿中完成,每皿中央以丙酮作对照,暗室培养(细菌 37 ℃、24 h,真菌 28 ℃、48 h).测定抑菌圈大小.

**2.2.4 杉木心材精油最低抑菌浓度(MIC)测定** 采用连续稀释法<sup>[26]</sup>,以丙酮为溶剂,配制一系列梯度浓度的精油溶液,将此梯度浓度的精油溶液加入已融化好的培养基中,混合均匀,使培养基中含精油的浓度为 2、1、0.5、0.25、0.125、0.0625 mg·ml<sup>-1</sup>.待培养基冷却凝固后,平板划线接种,按前述条件培养,观察结果,每一精油浓度梯度作 3 组平行试验,与对照组(菌落生长正常)比较,有肉眼可见菌落生长者为无

抑制作用,以完全没有菌生长的最低精油浓度为其最低抑菌浓度(MIC, the minimum inhibitory concentration),以丙酮、无菌蒸馏水作对照,分别测得杉木精油对几种试验菌的 MIC 值.

**2.2.5 杉木心材精油成分分离及抑菌活性** 将杉木精油 4 g 用正己烷溶解后上硅胶柱(60 × 2.5 cm),分别以正己烷、正己烷混合无水乙醚按 8:2(v/v)、6:4(v/v),正己烷混合无水乙醚及乙酸乙酯按 4:5:1(v/v/v)、2:6:2(v/v/v)为冲提溶剂(体积皆为 300 ml),顺序冲提分离杉木精油成分,收集得 5 个分离部.各分离部经减压浓缩、玻璃干燥器干燥后称重备用.将杉木心材精油各分离部用丙酮溶解,分别配制成 5% 浓度的供试液,按 2.2.3 方法进行抑菌活性试验.

**2.2.6 杉木心材精油分离部 II 晶状析出物与杉木板材表面针状结晶成分及抑菌活性比较** 将杉木心材精油分离部 II 晶状析出物、杉木板材表面针状结晶以正己烷-无水乙醚(4:1)混合溶剂作展开剂,采用自制薄层层析板进行薄层层析比较试验,再经气质联用分析(方法同 2.2.2)给出比较结论.杉木心材精油分离部 II 晶状析出物与杉木板材表面针状结晶按 2.2.3 方法进行抑菌活性比较试验.

## 3 结果与分析

### 3.1 杉木心材精油成分及含量

测定结果表明,随着取时间的延长,杉木心材精油提取率略有提高,3 h 之后,提取率不再提高.本试验条件下杉木心材精油提取率为 1.794~2.076%(W/W)(实际工作中,影响杉木心材精油提取率的主要因素还有树龄、材料粉碎度、材料收集贮存的方式等).

本实验条件下共分离出 47 个色谱峰(图 1),鉴定出其中的 27 个化合物,占该精油总量的 99%.各峰的相对含量均由该机数据处理系统根据峰面积归一化法给出.精油成分中含量较高的有:Cedrol、p-menth-1-en-8-ol、1-Cyclohexene、1, 3, 3-trimethyl-2-(1-methylbut-1-en-on-1-ly)、Epicedrol、Thujopsene-I3 等,其中 Cedrol 含量最高,达 76.269%.

表 1 结果表明,peak18 色谱峰是杉木心材精油的主要成分峰,在进行色-质联机分析时,其质谱图与柏木脑标准谱图的相似度为 93,结合相关文献数据分析,可将其鉴定为柏木脑.

### 3.2 杉木心材精油的抑菌活性和最低抑菌浓度

表 2 试验结果表明,杉木心材精油对大肠杆菌、枯草芽孢杆菌、金黄色葡萄球菌、伤寒沙门氏菌均有抑制作用,抑菌效力在试验设置的浓度范围内,随供试精油浓度的提高而增大.杉木心材精油对黑曲霉、毛霉等真菌没有抑制作用.

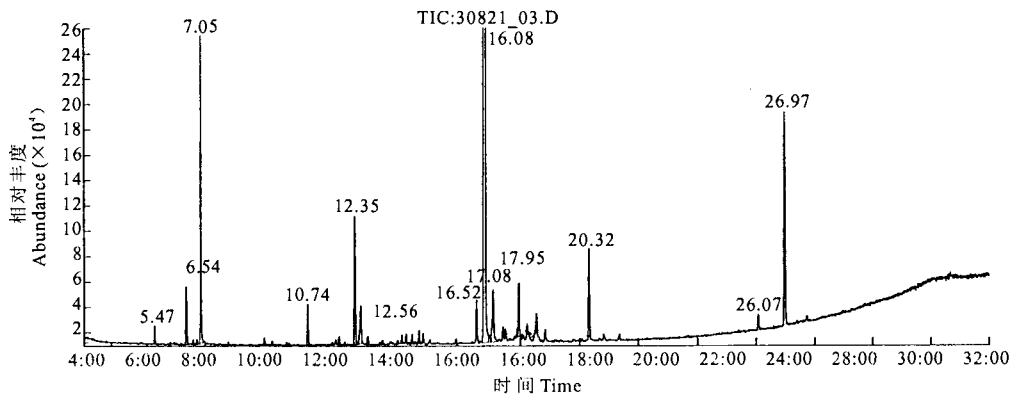


图1 杉木心材精油的总离子流气相色谱图

Fig. 1 Total ion-current chromatograms of essential oils in the heartwood of *C. lanceolata*.

表1 杉木心材精油主要化学成分与含量

Table 1 Major components and contents of essential oils in the heartwood of *C. lanceolata*

峰号 Peak No	保留时间 Reservation time (min)	化合物 Compounds	相对含量 Relative content (%)	相似度 Fit factor
1	5.475	Bicyclo[2.2.1]heptan-2-ol, 1,3,3-trimethyl-	0.304	91
2	6.546	Borneol	0.955	90
3	6.776	3-cyclohexen-1-ol, 4-methyl-1-(1-methylethyl)	0.065	90
4	7.045	p-menth-1-en-8-ol	5.028	91
5	9.237	Aceticacid, 1,7,7-trimethyl-bicyclo[2.2.1]hept-2-yl ester	0.134	95
6	10.737	(+)-4-Carene	0.687	90
7	11.814	Cyclohexane, 1-ethenyl-1-methyl-2,4-bis(1-methylethenyl)-, [1S-(1.alpha., 2.beta., 4.beta.)]	0.152	91
8	12.352	1H-3a,7-methanoazulene, 2,3,4,7,8,8a-hexahydro-3,6,8,8-tetramethyl-, [3R-(3.alpha.,3a.beta.,7.beta.,8a.alpha.)]	2.423	98
9	12.557	Naphthalene, 1,2,3,4,4a,5,6,8a-octahydro-7-methyl-4-methylene-1-(1-methylethyl)-, (1.alpha.,4a.beta.,8a.alpha.)	0.975	89
10	12.794	Thujopsene	0.150	95
11	13.288	1,6,10-dodecatriene, 7,11-dimethyl-3-methylene	0.105	93
12	13.954	Benzene, 1-(1,5-dimethyl-4-hexenyl)-4-methyl	0.145	97
13	14.095	Eudesma-4(14),11-diene	0.172	92
14	14.307	2-isopropenyl-4a,8-dimethyl-1,2,3,4,5,6,8-octahydronaphthalene	0.187	87
15	14.563	Benzene, 1-methyl-4-(1,2,2-trimethylcyclopentyl)	0.238	86
16	14.698	Phenol, 2,3,6-trimethyl	0.176	89
17	16.518	1H-benzocyclohepten-7-ol, 2,3,4,4a,5,6,7,8-octahydro-1,1,4a,7-tetramethyl-, cis-	0.935	91
18	16.806	Cedrol	76.269	93
19	17.075	Epicedrol	1.451	94
20	17.409	Di-epi-.alpha.-cedrene	0.261	91
21	17.492	Di-epi-.alpha.-cedrene-(I)	0.167	86
22	17.953	Azulene, 1,2,3,3a,4,5,6,7-octahydro-1,4-dimethyl-7-(1-methylethenyl)-, [1R-(1.alpha.,3a.beta.,4.alpha.,7.beta.)]-	1.359	78
23	18.223	alpha.-Santalol	0.353	87
24	18.537	alpha.-Bisabolol	0.786	92
25	20.318	Thujopsene-I3	1.774	86
26	26.067	1-naphthalenepropanol, .alpha.-ethenyldecahydro-.alpha.,5,5,8a-tetramethyl-2-methylene-, 1S-[1.alpha.(S*),4a.beta.,8a.alpha.]	0.340	91
27	26.964	1-cyclohexene, 1,3,3-trimethyl-2-(1-methylbut-1-en-on-1-yl)-	4.293	92

表2 不同浓度杉木心材精油抑菌效力(抑菌圈直径:mm)

Table 2 Antimicrobial effect of different concentration essential oil from the heartwood of *C. lanceolata* (the diameter of antimicrobial circle:mm)

试样 Testing material	大肠杆菌 <i>Escherichia coli</i> G-	金黄色葡萄球菌 <i>Staphylococcus aureus</i> G+	枯草芽孢杆菌 <i>Bacillus sabtills</i>	伤寒沙门氏菌 <i>Salmonella typhi</i>	黑曲霉 <i>Aspergillus niger</i>	毛霉 <i>Mucor</i>
1%精油 1% Essential oil	9.12 ± 0.16 <sup>c</sup>	8.37 ± 0.17 <sup>c</sup>	9.05 ± 0.10 <sup>c</sup>	8.14 ± 0.28 <sup>c</sup>	6.0 ± 0.00 <sup>a</sup>	6.0 ± 0.00 <sup>a</sup>
5%精油 5% Essential oil	11.90 ± 0.20 <sup>b</sup>	9.85 ± 0.18 <sup>b</sup>	11.20 ± 0.40 <sup>b</sup>	9.20 ± 0.10 <sup>b</sup>	6.0 ± 0.00 <sup>a</sup>	6.0 ± 0.00 <sup>a</sup>
20%精油 20% Essential oil	15.30 ± 0.33 <sup>a</sup>	13.51 ± 0.20 <sup>a</sup>	13.23 ± 0.21 <sup>a</sup>	11.23 ± 0.17 <sup>a</sup>	6.0 ± 0.00 <sup>a</sup>	6.0 ± 0.00 <sup>a</sup>
丙酮对照 Acetone control	6.0 ± 0.00 <sup>d</sup>	6.0 ± 0.00 <sup>d</sup>	6.0 ± 0.00 <sup>d</sup>	6.0 ± 0.00 <sup>d</sup>	6.0 ± 0.00 <sup>a</sup>	6.0 ± 0.00 <sup>a</sup>

\* 同列数据字母不同表示在 0.05 水平差异显著 The different letter within a column showed significant differences at 0.05 levels. 下同 The same below.

由表 3 可见, 杉木心材精油对大肠杆菌的最低抑菌浓度(MIC)为 0.5 mg·ml<sup>-1</sup>; 对金黄色葡萄球菌

、枯草芽孢杆菌、伤寒沙门氏菌的最低抑菌浓度(MIC)为 0.25 mg·ml<sup>-1</sup>. 杉木心材精油对 4 种供试

菌均表现出较强的抑制活性。

表 3 杉木心材精油的最低抑菌浓度(MIC)

Table 3 Minimum inhibitory concentration of essential oil in heartwood of *C. lanceolata*

试验菌 Testing bacteria	精油浓度 Concentration of essential oil(mg·ml <sup>-1</sup> )					
	2	1	0.5	0.25	0.125	0.0625
大肠杆菌 <i>Escherichia coli</i> G-	-	-	-	+	+	+
金黄色葡萄球菌 <i>Staphylococcus aureus</i> G+	-	-	-	-	+	+
枯草芽孢杆菌 <i>Bacillus subtilis</i>	-	-	-	-	+	+
伤寒沙门氏菌 <i>Salmonella typhi</i>	-	-	-	-	+	+

- 无菌生长 No growth; + 菌体较少 Less growth.

### 3.3 杉木心材精油成分的分部分离及其抑菌活性

杉木心材精油成分的分部分离试验结果表明见表 4。各分离部对不同供试菌表现出较为一致的抗菌活性表 5。在 5 个分离部中,只有分离部 I 和分离部 II 表现出较强的抑菌活性,其余 3 个分离部的抑菌活性表现不明显。与对照相比,分离部 II 对几种供试菌的抑菌生物活性强于相同浓度的杉木精油稀释溶液,表明杉木心材精油抑菌活性成分主要集中于分离部 II。其有效成分含量高于原杉木精油,使得分离部 II 对几种供试菌表现出较突出的抑菌生物活性。

表 4 杉木心材精油柱层析分离

Table 4 Separation of essential oil from the heartwood of *C. lanceolata* by column chromatography

冲提溶剂 Eluting solvents	分离部 Fraction	重量 Weight (g)	收率 Obtaining rate(%)
正己烷:无水乙醚:乙酸乙酯(v/v/v) n-hexane:ethyl ether:ethyl acetate			
1:0:0	I	1.23	30.75
8:2:0	II	2.34	58.50
6:4:0	III	0.12	3.00
4:5:1	IV	0.06	1.50
2:6:2	V	0.08	2.00

表 5 杉木心材精油各分离部抑菌效力(抑菌圈直径:mm)

Table 5 Antimicrobial effect of each fraction of essential oil in heartwood of *C. lanceolata* (the diameter of the antimicrobial circle:mm)

试样 Testing material	大肠杆菌 <i>Escherichia coli</i> G-	金黄色葡萄球菌 <i>Staphylococcus aureus</i> G+	枯草芽孢杆菌 <i>Bacillus subtilis</i>	伤寒沙门氏菌 <i>Salmonella typhi</i>
分离部 I Fraction I	12.4±0.47 <sup>b</sup>	15.3±0.53 <sup>b</sup>	14.3±0.26 <sup>b</sup>	11.2±0.40 <sup>b</sup>
分离部 II Fraction II	17.6±0.40 <sup>a</sup>	23.5±0.73 <sup>a</sup>	23.2±0.60 <sup>a</sup>	22.1±0.47 <sup>a</sup>
分离部 III Fraction III	7.0±0.47 <sup>c</sup>	7.3±0.73 <sup>d</sup>	7.4±0.80 <sup>d</sup>	6.5±0.33 <sup>d</sup>
分离部 IV Fraction IV	6.0±0.00 <sup>d</sup>	6.0±0.00 <sup>e</sup>	6.0±0.00 <sup>e</sup>	6.0±0.00 <sup>d</sup>
分离部 V Fraction V	6.5±0.33 <sup>cd</sup>	6.5±0.47 <sup>de</sup>	6.7±0.33 <sup>de</sup>	6.8±0.40 <sup>d</sup>
5% 杉木精油 5% Essential oil	12.1±0.53 <sup>b</sup>	13.3±0.73 <sup>c</sup>	12.6±0.47 <sup>c</sup>	10.2±0.40 <sup>c</sup>
丙酮对照 Acetone control	6.0±0.00 <sup>d</sup>	6.0±0.00 <sup>e</sup>	6.0±0.00 <sup>e</sup>	6.0±0.00 <sup>d</sup>

### 3.4 杉木心材精油分离部 II 晶状析出物与杉木板材表面针状结晶成分及抑菌活性的比较

经薄层层析试验,杉木心材精油分离部 II 晶状

析出物与杉木板材表面针状结晶均显示单一斑点,Rf 值相同,都具有较高的纯度;而气质联用分析显示,两样品在气相色谱图上保留时间(Rt)16.806 min 处,都显示单一波峰,与柏木脑标准谱图的相似度为 93。这表明,本试验条件下所得杉木心材精油分离部 II 晶状析出物与杉木板材表面针状结晶都具有较高的纯度,皆为柏木脑。

抑菌活性试验结果表明,本试验条件下所得杉木心材精油分离部 II 晶状析出物与杉木板材表面针状结晶对大肠杆菌、金黄色葡萄球菌、枯草芽孢杆菌、伤寒沙门氏菌均具有较强的抑制活性;杉木心材精油的主要抑菌成分为柏木脑。

## 4 讨 论

为有效地保护和利用森林资源,对木材的非木质利用、提高木材生产力的技术措施、林业生产与环境的协调发展等系列问题的探讨已引起人们的高度重视<sup>[4,6,8,21]</sup>。杉木是我国特有的速生丰产树种,在商品木材生产中占有重要地位。更有效地开发利用此项资源,是当前林业发展所面临的重要研究课题之一,其内容涉及栽培、生态、生物活性、化学成分、加工利用等许多不同的领域<sup>[2,5,9,11,14,19]</sup>。

杉木精油含量随树龄、部位、提取工艺的不同而有很大差异<sup>[5,9,11,14,19]</sup>。本文试验条件下杉木心材精油提取率为 1.794~2.076% (W/W),精油得率较高。因此,对林区杉木板材加工过程中产生的大量锯屑,应重视其中精油成分的利用价值,结合杉木木屑食用菌栽培料的处理过程,开发精油利用产品,提高资源综合利用效益。此外,从山区杉木制品加工厂原料干燥过程尾气收集物中,可以方便地收集到纯度较高的柏木脑。该类原料的再加工利用,可望有较高的经济效益。本文试验结果表明,柏木脑主要存在于分离部 I、II,为进一步探讨分离利用柏木脑工艺技术和杉木人工林化感作用机制提供了重要依据。

本文试验条件下所得杉木心材精油的主要化学成分是 Cedrol,与同类研究结果一致<sup>[5,9,11,14,19]</sup>,其他成分则略有不同。杉木精油的化学组成随试验材料的不同存在差异,可能是不同的生态环境影响杉木体内的生理代谢过程,以致次生物质的合成、转化和积累有所差异。谢瑞忠<sup>[19]</sup>证实 Cedrol 对许多微生物如葡萄球菌、大肠杆菌、产气性杆菌、变形杆菌及绿脓菌在低浓度下(0.7 mg·ml<sup>-1</sup>)均有强烈抑菌效果;对真菌类香菇、金针菇、绿霉菌、真珠菇及灵芝等在低浓度(300 mg 苯·L<sup>-1</sup>)下均具有抑制菌丝生长

作用. 3种不同品系杉木耐腐性试验表明, Cedrol 对白腐菌、褐腐菌抗菌成分主要存在于正己烷及丙酮抽出物中<sup>[16]</sup>; 且具有较强的抗菌性<sup>[24]</sup>. 杉木精油对水、空气和食品中常见菌表现出较强的抑菌生物活性. 作为天然抑菌剂, 杉木精油具有安全性高、无不良气味、易得、分离加工应用成本低的优势, 对于进一步开展杉木精油室内卫生用品、果蔬食品保鲜剂等应用产品的开发将有较好的应用前景.

杉木的化感作用是杉木人工林衰退的原因之一<sup>[2]</sup>. 杉木通过分泌其体内的特殊物质抑制其它植物、动物以及微生物的生长. 目前普遍认为酚类物质是引起杉木人工林化感作用的主要物质. 但另有研究表明土壤中的水溶性酚类物质含量高时可通过吸附作用被土壤腐殖质和矿物胶体吸附成为复合态酚, 同时土壤中的酚类物质很容易被土壤微生物分解, 故而酚类物质不能在杉木林地土壤积累并引起毒害作用. 土壤微生物和土壤酶在土壤养分转化过程中起着非常重要的作用, 它们的降低必然影响土壤中养分转化和土壤有效养分含量, 使杉木生产力下降. 本文研究证实 Cedrol 为非水溶性倍半萜类物质, 具有很强的抑菌作用. 杉木根系分泌出的 Cedrol 能够抑制微生物的生长, 被土壤微生物分解转化的趋势减弱, 同时, 由于其不易被水淋洗而为土壤吸收富集, 将导致杉木人工林土壤微生物区系和生化活性的变化, 从而影响杉木的生产力. 这有待于进一步验证.

#### 参考文献

- Cao F-X(曹福祥), Luo J-L(罗金陵), Wang Z-D(王志德), et al. 1996. Identification of chemical components of essential oil from Jiyu Fragrance Fir (*Cunninghamia lanceolata* Hook.). *J Central-South For Univ* (中南林业学院学报), 21(3): 22~28 (in Chinese)
- Chen L-C(陈龙池), Wang S-L(汪思龙), Chen C-Y(陈楚莹). 2004. Degradation mechanism of Chinese fir plantation. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), 15(10): 1953~1957 (in Chinese)
- Fan J-S(樊金拴), Li X-M(李晓明), Cao Y-M(曹玉美), et al. 1998. On the inhibiting-Germ-inhibiting action of essential oil from Farges Fir. *J Northwest For Coll* (西北林业学院学报), 13(3): 50~55 (in Chinese)
- He X-Y(何兴元), Zeng D-H(曾德慧). 2004. Applied ecology: Retrospect and prospect. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), 15(10): 1691~1697 (in Chinese)
- Huan LH, Qin TF, Ohira Tatsuro. 2004. Studies on preparations and analysis of essential oil from Chinese fir. *J For Res*, 15(1): 80~82
- Jiang P(姜萍), Ye H-L(叶汉玲), An X-N(安鑫南). 2004. Studies on extraction of extractives from *Melia azedarach* L. and its bacteriostatic activity. *Chem Indust For Products* (林产化学与工业), 24(4): 23~27 (in Chinese)
- Knobloch K, Pauli A, Iberl B. 1989. Antibacterial and antifungal properties of essential oil. *J Essent Oil Res*, 1(1): 119~128
- Kong Y(孔阳), Ma Y-M(马养民), Yu B(余博), et al. 2005. Studies on the antimicrobial active constituents of stem and leaves from *Menispermum dahuricum* DC. *J Northwest Sci-Tech Univ Agric For* (西北农林科技大学学报), 33(4): 151~153 (in Chinese)
- Lin Z-W(林中文), Yu Z(余珍), Ding J-K(丁靖垠), et al. 1999. The chemical constituents of two natural woody fragrances. *Acta Bot Yunnanica* (云南植物研究), 21(1): 96 (in Chinese)
- Lu X-X(陆熙娴), Chen Y-S(陈允适), Hou B-X(侯伯鑫), et al. 2000. Characteristics of buried wood of China Fir. *Chem Indust For Products* (林产化学与工业), 20(2): 59~64 (in Chinese)
- Lu X-X(陆熙娴), Zhou Q(周勤), Cheng Z-H(程政红). 1999. Studies on the chemical components of essential oil from buried wood of *Cunninghamia unicanaliculata*. *Chem Indust For Products* (林产化学与工业), 19(2): 67~72 (in Chinese)
- Shi J-S(施季森), Ye Z-H(叶志宏), Weng Y-Z(翁玉榛), et al. 1993. Research on the joint genetic improvement of growth and wood properties in Chinese fir (*Cunninghamia lanceolata* (Lamb) Hook.). *J Nanjing For Univ* (南京林业大学学报), 17(1): 1~8 (in Chinese)
- Sighamony S, Anees I, Chandrakala TS, et al. 1984. Natural products as repellents for *Tribolium castaneum* Herbst. *Inter Pest Control*, 26(6): 156~157
- Sun L-F(孙凌峰). 2000. Study on chemical constituents of the essential oil from the root of *Cunninghamia lanceolata*. *Flavour Fragrance Cosmet* (香料香精化妆品), 60(1): 1~5 (in Chinese)
- Wang S-F(王守范), Wang Z-L(王振瀾), Xie T-Z(谢堂州), et al. 1987. The antitermite characters of major native woods in Taiwan and the termite-controlling properties of chemicals. *Bull Taiwan For Res Inst New Series* (林业试验所研究报告季刊), 2(2): 117~128 (in Chinese)
- Wang Z-L(王振瀾), Lin S-J(林胜杰), Xie T-Z(谢堂州). 1989. Variations in decay-resistance of heartwoods from three *Cunninghamia lanceolata* forms after sequential extractions with different solvents. *Bull Taiwan For Res Inst New Series* (林业试验所研究报告季刊), 4(1): 15~22 (in Chinese)
- Xie R-Z(谢瑞忠), Lin T-S(林天书), Yin H-W(尹华文), et al. 1990. Essential oil yield and component variation from *Santalum album* wood of different age in Taiwan. *Bull Taiwan For Res Inst New Series* (林业试验所研究报告季刊), 5(1): 45~48 (in Chinese)
- Xie R-Z(谢瑞忠). 1996. Yields and chemical components of essential oils in *Eucalyptus camaldulensis* leaves. *Taiwan J For Sci* (台湾林业科学), 11(2): 149~157 (in Chinese)
- Xie R-Z(谢瑞忠). 1999. Chemical components of essential oils in the heartwood of *Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook. *Taiwan J For Sci* (台湾林业科学), 14(2): 165~176 (in Chinese)
- Xu R-S(徐任生), Chen Z-L(陈仲良). 1983. Extraction and Separation of Efticient Element from Chinese Herbal Medicine. Second edition. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press. 354~356 (in Chinese)
- Zhang M-X(张茂新), Ling B(凌冰), Kong C-H(孔垂华), et al. 2002. Allelopathic potential of volatile oil from *Mikania micrantha*. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), 13(10): 1300~1302 (in Chinese)
- Zhang S-Z(张上镇), Chen P-F(陈品方). 1998. Components and activities of wood extractives against house dust mites. *For Products Indust* (林产工业), 17(4): 819~828 (in Chinese)
- Zhang S-Z(张上镇), Wang S-Y(王升阳), Wu J-L(吴季玲). 2000. Evaluation of antitumor potential of Lignans from *Taiwania* (*Taiwania cryptomerioides* Hayata). *Q J Chin For* (中华林学季刊), 33(2): 277~282 (in Chinese)
- Zhang S-Z(张上镇), Wu J-L(吴季玲), Wang S-Y(王升阳), et al. 1998. Studies on the antifungal compounds in the heartwood extractives of *Taiwania* (*Taiwania cryptomerioides* Hayata) (I). *For Products Indust* (林产工业), 17(2): 287~303 (in Chinese)
- Zhang S-Z(张上镇), Yin H-W(尹华文). 1991. Identification of the needle crystal appeared on the wood surface of *Cunninghamia Konishii* Hayata. *Bull Taiwan For Res Inst New Series* (林业试验所研究报告季刊), 6(1): 57~63 (in Chinese)
- Zhou B-J(周邦靖). 1987. The Antibacteria Effect and Determination Method of Common Chinese Herbal Medicine. Chongqing: Chongqing Science and Technology Press. 289~306 (in Chinese)
- Zhu L-F(朱亮锋), Li B-L(李宝灵), Lu B-Y(陆碧瑶). 1992. Advances in the studies on analysis method for essential oil composition. *Chin Bull Bot* (植物学通报), 9(2): 57~60 (in Chinese)

作者简介 叶舟,男,1957年生,副教授.主要从事天然活性物质利用、植物化学研究,发表论文10余篇. Tel: 13328851182; E-mail: zhouye63@sina.com