

78 株油樟内生真菌发酵产物的挥发性组分分析

游 玲¹, 王 涛¹, 李 兰¹, 魏 琴¹, 梁艳英²

(1 宜宾学院 发酵资源与应用四川省高校重点实验室, 四川 宜宾 644000; 2 西北农林科技大学 葡萄酒学院, 陕西 杨凌 712100)

[摘 要] **【目的】**检测 78 株油樟内生真菌(其中根内生真菌 43 株, 茎内生真菌 11 株, 叶内生真菌 24 株)代谢产物的组分。**【方法】**78 株油樟内生真菌经 PDA 液体培养基摇床培养 8 d 后, 取液体发酵产物, 采用 GC-MS 法检测其乙醚提取液中的挥发性物质。**【结果】**多数油樟内生真菌均可产 $C_{10} \sim C_{28}$ 之间的烷烃(二十烷最常见)和 $C_{16} \sim C_{19}$ 脂肪酸及其对应的甲酯; 55 株内生真菌产烷基苯; 35 株内生真菌可产叔丁基苯酚的多种同分异构体; 70 株内生真菌发酵液中都检测到 α -萜品醇, 其中 2 株相对含量较高; 5 株内生真菌发酵产物中可以检测到黄樟油素; 4 株内生真菌发酵产物中可以同时检测到黄樟油素及桉叶油素。另有 2 株内生真菌的主要产物分别是蘑菇醇及苯乙酸。**【结论】**油樟内生真菌与油樟之间, 内生真菌相互之间存在广泛的醇类物质共代谢; 油樟内生真菌代谢产物对油樟植株具有促生、抗氧化、协助合成活性物质等作用; 某些油樟内生真菌能够合成一些特殊产物, 具有一定的开发利用价值。

[关键词] 油樟; 内生真菌; GC-MS

[中图分类号] Q939.5

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2009)09-0193-06

Analyses on volatile organic compound of 78 endophytic fungi isolated from *Cinnamomum longepaniculatum* N. Chao ex H. W. Li

YOU Ling¹, WANG Tao¹, LI Lan¹, WEI Qin¹, LIANG Yan-ying²

(1 Key Laboratory of Fermentation Resources and Application at Universities of Sichuan Province, Yibin University, Yibin, Sichuan 644000, China; 2 College of Enology, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: **【Objective】**This study explored the metabolic constitution to of 78 endophytic fungi(43 were from roots, 11 from stems, and 24 from leaves)isolated from *Cinnamomum longepaniculatum* N. Chao ex H. W. Li. **【Method】**78 endophytic fungi were cultured for 8 d in PDA liquid medium. The productions were extracted by absolute ethyl ether, and then gas chromatography/mass spectrometry (GC-MS) method was used to detect their volatile organic compounds. **【Result】**Most strains can produce $C_{18}H_{38}N_2O$, alkanes of $C_{10} \sim C_{28}$ (C_{20} generally) and a lot of fatty acids or fatty acid methyl esters of $C_{16} \sim C_{19}$; 55 strains produced alkyl benzene, and 35 strains 2-butyl phenol; 70 strains produced terpeneol, of which two strains produced in large quantities; 5 strains produced saffrole; 4 strains produced cineole and saffrole simultaneously; 2 strains produced morillol and phenylacetic acid respectively. **【Conclusion】**Comprehensive co-metabolism of alcohol exists among endophytic fungi and *Cinnamomum longepaniculatum* N. Chao ex H. W. Li; Endophytic fungi can promote the growth of *Cinnamomum longepaniculatum* N. Chao ex H. W. Li, and help the host in antioxidation and synthesis of bioactive metabolites; Some microbes with potential value for application have been obtained in the study.

Key words: *Cinnamomum longepaniculatum* N. Chao ex H. W. Li; endophytic fungi; GC-MS

* [收稿日期] 2008-12-24

[基金项目] 四川省科技厅应用基础研究项目(07JY029-001); 四川省教育厅青年基金项目(2006B079); 国家自然科学基金项目(30660004, 30460004, 30260004); 宜宾学院青年基金项目(2007Q19)

[作者简介] 游 玲(1981—), 女, 四川宜宾人, 助教, 硕士, 主要从事微生物发酵研究。E-mail: youling810521@yahoo.com.cn

[通信作者] 王 涛(1973—), 男, 四川宜宾人, 讲师, 在读博士, 主要从事微生物生态学研究。E-mail: asdfgwt@yahoo.com.cn

油樟 (*Cinnamomum longepaniculatum* N. Chao ex H. W. Li.) 是我国特有的天然芳香油生产树种,油樟叶经水蒸气蒸馏可得到油樟油(粗樟油)。油樟油是由几十种不同沸点的化学物质组成的混合物,其精加工产品是国防、轻工、医药等方面重要的稀有原料,且在香精香料工业中也占有重要地位^[1]。

有研究表明,内生真菌与宿主协同进化,有可能在某些植物代谢产物的形成中起重要作用,如红豆杉内生真菌可发酵生产抗癌物质紫杉醇^[2]。调查显示,香樟叶含油量仅为 1.5%,而宜宾油樟含油量约为 3.8%~4.5%,宜宾生产的樟油桉叶油素含量达 56.8%,广西、江西等地从宜宾引种的油樟所产樟油桉叶油素含量仅为 23%左右^[3]。其他地方引种的油樟产油能力之所以不如原产地,除受生态地理条件、遗传、树龄、季节、气候等因素影响外^[4],可能与宜宾特有的生态环境,尤其是由内生菌参与构成的植株内部微生态环境有关^[5]。此外,宜宾油樟本身几乎不发生植物病害,魏琴等^[6]研究表明,油樟油对水稻稻瘟病菌等 6 种植物病原真菌的菌丝生长、孢子萌发有强烈的抑制作用,油樟林内其他植物也很难生长,能在这样的环境中生存的油樟内生真菌,可能存在一些有开发利用潜力的微生物资源。

目前,植物内生真菌的研究多集中在内生菌的分离鉴定及生防等方面,有的也涉及少数菌株 1~2 种活性产物的检测分析^[7],覆盖面有限,很难系统地阐明内生真菌与宿主植物的依存关系。樟科植物作为我国重要的经济树种,目前仅王涛等^[8]开展了油樟内生真菌分类鉴定及其抗真菌活性研究。本研究通过对 78 株油樟内生真菌发酵产物的分析,探讨宜宾油樟内生真菌与油樟的联系,以期利用内生真菌与油樟的相互作用,人工接种内生真菌到油樟植株内,促进其早产、丰产樟油。

1 材料与方法

1.1 菌种

78 株油樟内生真菌均分离自宜宾市隆兴镇的油樟植株根、茎、叶内,其中根内生真菌 43 株,茎内生真菌 11 株,叶内生真菌 24 株,采用 PDA 培养基培养保存。

1.2 仪器

超声波细胞粉碎仪,购自宁波新芝生物科技股份有限公司;气相色谱质谱联用仪,购自日本岛津公司。

1.3 油樟内生真菌发酵产物的制备

将油樟内生真菌接种 PDA 液体培养基,28℃、

180 r/min 摇床培养 8 d,将培养物取出、分装、超声破碎菌丝球,加入浓盐酸,使其终浓度约为 4 mol/L (50 mL 发酵液加体积分数 36%~38%的盐酸 1.5 mL),室温放置 20 min。4 层纱布过滤,分别向 5 mL 滤液及 10%的滤渣中加入 5 mL 无水乙醚,充分振荡,静置分层,取滤液、滤渣中的乙醚相各 2 mL,混匀,-20℃储存备用。

1.4 油樟内生真菌发酵产物的 GC-MS 检测

色谱条件^[9-10]:色谱柱为 Rtx-5MS(300 mm×0.25 mm×0.25 μm)弹性石英毛细管柱,载气为高纯氮气,流速为 1.63 mL/min;柱温为 80℃(保持 3 min),以 5℃/min 的速率升温至 130℃(保持 5 min);进样口温度 300℃,进样量 1 μL,分流比 30:1。

质谱条件^[9-10]:电离源 EI,电子能量 70 eV;离子源温度 200℃,检测温度 250℃,溶剂延迟 3 min,扫描范围 30~550 amu,倍增电压 1.2 kV。

检测时以空白 PDA 培养基作为空白对照。

2 结果与分析

2.1 油樟内生真菌的主要发酵产物

GC-MS 检测结果表明,油樟内生真菌发酵液的乙醚萃取液组分很复杂,对比去除空白后,与质谱数据库中相似度较大且出现频率较高的物质主要有脂肪酸、脂肪酸甲酯、烷烃和醇类(表 1),某些菌株发酵液中还可检测到少量的烯烃、醛、醚、酰胺类物质。其中广泛存在的组分有 5 种(表 2),55 株内生真菌产碳十六、碳十八的烷基苯,相似度一般在 75%左右;35 株内生真菌可产叔丁基苯酚的多种同分异构体,相似度 65%~80%;60 株内生真菌发酵液中均可以检测到 α-萜品醇,其中 2 株相对含量较高。

检测到的各种发酵产物中,有些是用于提高油樟内生真菌定殖能力的,如大量出现的烷基苯(烷基长度从 7 个碳原子到 15 个碳原子均有),其作为一种阴离子表面活性剂可能有两方面的作用,一是促进菌株本身的营养吸收及代谢产物扩散,使其在植株内部大量定殖和扩散;二是作为中间代谢产物参与一些结构复杂的有机物的合成。

油樟内生真菌的醇类产物多是 C₈~C₁₂ 的醇,多数内生真菌发酵液中可检测到相似度为 80%以上的萜品醇、3-辛醇、2,2-二甲基-1-辛醇、2-异丙基-5-甲基-1-己醇、薄荷醇和 2-异丙基-5-甲基庚醇,其中 2-异丙基-5-甲基-1-己醇与樟油组分香茅醇结构类似;萜品醇、薄荷醇不仅结构与桉叶油素类似,本身也是樟油组分;其他一些醇类物质也多与樟油中

某些组分存在结构上的相似性及相互转化的可能性。如此丰富的醇类产物在其他非内生真菌中是罕见的,从代谢角度看,可以认为醇类物质的合成是内

生真菌与油樟之间最主要的共代谢方式,内生真菌合成醇类的能力很大程度上来自于油樟内生环境。

表 1 油樟内生真菌发酵产物的 GC-MS 分析

Table 1 GC-MS analysis on fermentative products of endophytic fungi isolated from *C. longepaniculatum*

产物分类 Category of products	产物 Products
饱和脂肪酸 Fatty acids	十三烷酸 C ₁₃ H ₂₆ O ₂ Tridecanoic acid
	肉豆蔻酸 C ₁₄ H ₂₈ O ₂ Tetradecanoic acid
	十五烷酸 C ₁₅ H ₃₀ O ₂ Pentadecanoic acid
	棕榈酸 C ₁₆ H ₃₂ O ₂ Hexadecanoic acid
	硬脂酸 C ₁₈ H ₃₆ O ₂ Octadecadienoic acid
	二十烷酸 C ₂₀ H ₄₀ O ₂ Eicosanoic acid
	二十二烷酸 C ₂₂ H ₄₄ O ₂ Docosanoic acid
	二十四烷酸 C ₂₄ H ₄₈ O ₂ Tetracosanoic acid
不饱和脂肪酸 Unsaturated fatty acids	油酸 C ₁₈ H ₃₄ O ₂ Oleic acid
	亚油酸 C ₁₈ H ₃₂ O ₂ Octadecadienoic acid
	十九二烯酸 C ₁₉ H ₃₄ O ₂ Nonadecanoic acid
酯类 Esters	亚油酸甲酯 C ₁₉ H ₃₄ O ₂ Methyl linoleate
	α,β-二棕榈酸甘油酯 C ₃₅ H ₆₈ O ₅ 1,2-Dipalmitin
	棕榈酸甲酯 C ₁₇ H ₃₄ O ₂ Hexadecanoic acid methyl ester
	棕榈酸酯 C ₃₈ H ₆₈ O ₈ Ascorbic acid dihexadecanoate
	壬酸甲酯 C ₁₀ H ₁₈ O ₃ Nonanoic acid methyl ester
	邻苯二酸异丙醇正十八醇酯 C ₃₀ H ₅₀ O ₄ Phthalic isobutyl octadecyl ester
	环戊烷癸酸甲酯 C ₁₉ H ₃₆ O ₂ Cyclopentanetridecanoic acid methyl ester
	亚油酸甲酯 C ₁₉ H ₃₄ O ₂ Octadecadienoic acid methyl ester,
醇类 Alcohols	硬脂酸甲酯 C ₁₉ H ₃₈ O ₂ Octadecanoic acid methyl ester
	3-辛醇 C ₈ H ₁₈ O 3-Octanol
	2-异丙基-5-甲基-1-己醇 C ₁₀ H ₂₂ O 2-Isopropyl-5-methyl-1-hexanol
	薄荷醇 C ₁₀ H ₂₂ O Cyclohexanol
	2,2 二甲基-1-辛醇 C ₁₀ H ₂₂ O 2,2-Dimethyl-1-octanol
	2-甲基-1-癸醇 C ₁₁ H ₂₄ O 2-Methyl-1-decanol
	2-异丙基-5-甲基庚醇 C ₁₁ H ₂₄ O 2-Isopropyl-5-methyl-1-heptanol
	丁基辛醇 C ₁₂ H ₂₆ O 2-Butyloctanol
	3-羟基月桂酸 C ₁₂ H ₂₄ O ₃ 3-hydroxy,Dodecanoic acid
	癸二酸乙酯 C ₁₄ H ₂₆ O ₄ Oxalic acid, 6-ethyloct-3-yl ethyl ester
	2-己基-1-癸醇 C ₁₆ H ₃₄ O 2-Hexyl-1-decanol
	5,9-二甲基-1-辛醇 C ₁₂ H ₂₆ O 5,9-Dimethyl-1-octanol
	α-蒎品醇 C ₁₀ H ₁₈ O Terpineol
	橙花醇 C ₁₀ H ₁₈ O Nerol
	芳樟醇 C ₁₀ H ₁₈ O Linalool
其他常见产物 Other products	1,8-桉叶油素 C ₁₀ H ₁₈ O Cineole
	黄樟油素 C ₁₀ H ₁₀ O ₂ Safole
	香叶烯 C ₁₀ H ₁₆ Myrcene
	樟脑 C ₁₀ H ₁₆ O Camphor
	愈创木酚 C ₇ H ₈ O ₂ , Guaiacol
	α-蒎烯 C ₁₀ H ₁₆ α-Pinene
	硬酯酰胺 C ₁₈ H ₃₇ NO Stearamide
	油酸酰胺 C ₁₈ H ₃₅ NO Oleamide
	环氧癸烷 C ₁₀ H ₂₀ O Decyl-oxirane
	香茅醛 C ₁₀ H ₁₈ O Citronellal
	癸二烯醛 C ₁₀ H ₁₆ O 2,4-Decadienal
	月桂醛 C ₁₂ H ₂₄ O Dodecanal

在不同内生真菌的发酵产物中,还可以分别检

香叶烯或 C₈~C₁₆ 醇,这些物质或相似度不高,或相对含量很低,分散出现在各内生真菌发酵液中,未发

现能同时产这些物质的内生真菌株。但这些物质多为 10 个碳原子的基本结构,相互之间存在结构相似性,推测其可能来自于内生真菌之间的共代谢途径,在内生环境中作为中间代谢产物存在。宜宾樟油中桉叶油素、黄樟油素、香叶烯 3 种十碳化合物的总含

量为 88%^[1],而湖北樟油中布勒醇 C₁₅H₂₆O 含量达 44%^[11],两地油樟枝叶中樟油组分差异如此之大,除与油樟本身遗传距离有关之外,可能也与宜宾油樟中含多产 C₁₀ 结构化合物的内生真菌有关。

表 2 5 种常见油樟内生真菌液体发酵产物的分布情况

Table 2 Distribution of five fermentative products in endophytic fungi flora isolated from *C. longepaniculatum*

内生真菌 Endophytic fungi	产 α-萜品醇 的菌株数 No. of strains producing terpineol	产烷烃的 菌株数 No. of strains producing alkane	产脂肪酸的 菌株数 No. of strains producing fatty acid	产烷基苯的 菌株数 No. of strains producing benzene alkyl	产叔丁基苯酚 的菌株数 No. of strains producing x-tert-butylphenol
43 株根内生真菌 43 strains from roots	29	8	3	31	19
11 株茎内生真菌 11 stains from stems	8	0	2	8	5
24 株叶内生真菌 11 stains from leaves	23	0	1	16	11

油樟内生真菌发酵产物中检测到 α-萜品醇、桉叶油素、黄樟油素等樟油主要成分,说明油樟内生真菌参与了樟油的形成过程。从表 2 可以看出,60 株内生真菌可产 α-萜品醇,可见多数内生真菌与樟油形成有关,且从存在部位来看,根、茎、叶中分离到的能够产 α-萜品醇的内生真菌分别占各部位内生真菌总数的 67%,73%和 96%,其中叶内生真菌中能产生萜品醇的内生真菌最多,这与油樟叶樟油含量较高的检测结果一致^[1]。4 株内生真菌发酵产物中可同时检测到相似度达 60%~70%的黄樟油素及相似度达 68%~94%的桉叶油素,多数内生真菌发酵产物中可检测到各种 C₁₀ 化合物,结构类似于桉叶油素或黄樟油素,表明在黄樟油素和桉叶油素的形成过程中,这部分内生真菌可能也有贡献;少数内生真菌发酵产物中还可检测到樟油中的微量组分,如芳樟醇、薄荷醇、香茅醇等,但含量很低。

几乎所有的油樟内生真菌发酵液中均可检测到含量不等的 C₁₀~C₂₈ 烷烃(相似度均大于 80%),其中 C₂₀H₄₂ 最常见,樟树木材含 C₁₆~C₂₅ 的烷烃及 C₁₆、C₂₀、C₂₂、C₂₄、C₂₆、C₂₈ 的烷醇,油樟内生真菌可能与这些物质的合成有关。从表 2 可以看出,烷烃相对产量较高的 8 株内生真菌全部分离自油樟根部,其中 1 株根内生真菌发酵液的乙醚萃取物中,几乎全是烷烃。这可能是因为,土壤中微生物种类较多,能合成烷烃的真菌也相对较多,这些真菌可能更容易被植株接纳而成为内生真菌。

油樟内生真菌的某些发酵产物可改善油樟的生存能力。很多药用植物和香料植物需要产生各种化合物来阻碍活性氧(ROS)的毒性作用^[12],叔丁基苯酚作为一种抗氧化剂,广泛出现在内生真菌发酵液

中,可能与植物抗氧化有关,表明内生真菌在改善植株细胞内环境方面,可能具有不可忽视的作用。

综上所述,检测到的油樟内生真菌主要发酵产物(表 2)从一定程度上证实:一方面,内生环境导致油樟内生真菌与油樟植株及内生真菌相互之间发生基因交换,使内生真菌获得了产生某些产物的能力;另一方面,在内生环境中长期驯化而来的内生真菌在樟油形成及维持稳定的植株内部环境等方面有一定贡献。

2.2 油樟内生真菌的其他发酵产物

检测结果表明,半数以上油樟内生真菌均可产少量 C₁₆~C₁₉ 脂肪酸,其成分均是几种常见的微生物油脂组分,产量也低于常见产油脂真菌^[13]。4 株油脂产量或纯度较高的内生真菌,不仅产油脂能力不如文献^[13]报道的产油脂真菌,且其种属和数量在整个内生真菌群体中也不占优势。所有油樟内生真菌发酵产物中,均未检测到樟科植物的特征脂肪酸,即顺式 C₁₀、C₁₂ 及 C₁₄ 烯酸^[14],表明油樟内生真菌对油樟的作用可能并非是通过脂肪酸代谢途径发挥的,内生真菌产脂肪酸的能力与其内生环境之间无必然联系。

油樟内生真菌的酯类产物以油酸甲酯、棕榈酸甲酯、亚油酸甲酯及棕榈酸酯为主,广泛分布于产脂肪酸的各种内生真菌发酵液中,与脂肪酸的种类和数量相关,通常产某种脂肪酸较多的油樟内生真菌一般也可产相应的甲酯,但数量上并无规律性。如 1 株叶内生真菌的发酵液油脂抽提产物只有棕榈酸甲酯及亚油酸甲酯,含量达 12 g/L 左右,对应的脂肪酸却含量甚微,推测其可能具备将脂肪酸甲酯化的能力;该真菌还能降解利用纤维素,可以作为利用

纤维素发酵生产微生物油脂的资源菌进一步研究利用。

1 株油樟叶内生真菌发酵产物中,蘑菇醇 $C_8H_{16}O(1-Octen-3-ol)$ 占 70% 以上,相似度达 97%; 1 株油樟叶内生真菌的发酵产物中,可检测到相似度为 91% 的苯乙酸,相对含量 60% 左右;但油樟叶提取物中的前 20 种组分并不包括蘑菇醇及苯乙酸,说明这 2 株内生真菌的数量在叶内可能不占优势。

3 结论与讨论

油樟内生真菌在人工培养条件下的生长代谢状况与其在油樟植株内有一定差异,且某些挥发性产物产生后随即挥发到空气中,至发酵结束,这些物质在发酵液中的含量已经很少,再经过分装、破碎、乙醚萃取,基本损失殆尽而无法检测到,故检测到的挥发性产物的种类和数量少于内生真菌在内生环境中实际可形成的种类和数量。且油樟内生真菌的 PDA 液体发酵液是一种组分未知的混合物,由于缺乏标样,很难精确测定其中某一种或某一类物质,只能通过质谱数据库来搜索,将与数据库中物质相似度大于 80% 的认定为同种物质,大致确定气相色谱各峰归属;检测时,以前 20 个峰的面积和为总峰面积计算某种物质的相对含量,仅能确定内生真菌各主要产物的构成比例。即便如此,检测结果至少可得出以下结论:油樟内生真菌对油樟植株具有多方面作用,如合成抗氧化剂保护植物不受活性氧毒害;合成 1,8-桉叶油素、 α -蒎品醇、黄樟油素等多种樟油组分;参与油樟醇类物质的共代谢。内生真菌能够合成烷基苯,改善自身生存状况,增强其对油樟内环境的适应能力;内生真菌之间存在包括醇类物质在内的多种 10 碳化合物共代谢。因此,油樟内生真菌与油樟存在特殊的互利关系:油樟为内生真菌提供稳定的生存环境和生长代谢所需的营养物质,内生真菌为油樟提供某些中间代谢产物及抗氧化物质。

在长期的协同进化过程中,内生真菌与宿主植物之间存在基因水平转移^[15-16],故二者能够独立合成某些物质,或者合作合成某种物质。油樟有甲基丁香酚型、龙脑型、樟脑型、桉叶油素型、芳樟醇型和倍半萜烯型 6 个类型^[11]。宜宾油樟为桉叶油素型,但其枝叶中挥发性成分即使与同类型油樟相比,也有明显差异,这可能是由内生菌提供的某些基因而导致的。

试验发现,某些内生真菌刚分离时能够产生桉叶油素及黄樟油素,经保存传代数次之后丧失了这

些能力,原因可能有 2 方面:一是菌种退化,导致某些特定基因改变或缺损;二是体外环境下,内生真菌缺乏油樟提供的某些中间代谢产物作为前体物质。通常经水平传播进入油樟内部的内生真菌,与宿主的联系较为松散,能够维持自身相对独立的生长代谢,故在宿主体外仍然保留了合成某些产物的能力;而那些通过垂直传播,长期稳定存在于油樟内部的内生真菌对宿主的依赖性较强,脱离该环境后因代谢途径发生变化而不能合成相应的产物^[11]。

作为重要的微生物资源,目前人们已经从不同植物中分离到多株具有特殊应用价值的内生真菌^[17-18]。本研究对 78 株油樟内生真菌发酵产物进行 GC-MS 分析,得到大量有开发潜力的菌株,如 2 株叶内生真菌、1 株根内生真菌的发酵产物中,1,8-桉叶油素、 α -蒎品醇及黄樟油素 3 种物质的相对含量之和均超过 40%,可望用于人工发酵生产樟油,相关研究正在进行中。对宜宾油樟内生真菌资源可从以下 2 个方面进行开发利用:返接油樟植株,增加其在群体中的丰度,促进油樟生长,提高樟油产量;挑出遗传性能稳定的菌株,进行育种改造,筛选出适宜菌株,发酵生产功能活性物质。

[参考文献]

[1] 罗中杰,李维一,魏 琴,等. 宜宾油樟的现状 & 未来 [J]. 四川师范大学学报:自然科学版,2001,24(3):317-319.
Luo Z J, Li W Y, Wei Q, et al. The status and future of *Cinnamomum longepaniculatum* N. Chao ex H. W. Li in Yibin [J]. Journal of Sichuan Normal University: Natural Science, 2001, 24(3):317-319. (in Chinese)

[2] 陈毅坚,张 灼,王 艳,等. 云南红豆杉(*Taxus Yunnanensis*) 内生真菌中产紫杉醇真菌的筛选 [J]. 生物技术,2003,13(2):10-11.
Chen Y J, Zhang Z, Wang Y, et al. Screening endophytic fungus to produce taxol from *Taxus Yunnanensis* [J]. Biotechnology, 2003, 13(2):10-11. (in Chinese)

[3] 赵聆君. 综合开发宜宾油樟资源市场前景可观 [J]. 宜宾科技, 1994, 70:1-2.
Zhao L J. The bright prospects of comprehensive development rely to *Cinnamomum longepaniculatum* N. Chao ex H. W. Li in Yibin [J]. Yibin Science, 1994, 70:1-2. (in Chinese)

[4] 王海洋,陈 红. 油樟精油含量的植物及生态变异规律 [J]. 西南农业大学学报,1992,14(3):260-262.
Wang H Y, Chen H. A preliminary study on the variation in essential oils in *Cinnamomum longepaniculatum* N. Chao ex H. W. Li [J]. Journal of Southwest Agricultural University, 1992, 14(3):260-262. (in Chinese)

[5] Barbara S, Christine B. The endophytic continuum [J]. Mycological Research, 2005, 109(6):661-686.

- [6] 魏 琴,李 群,罗 扬,等. 油樟油对植物病原真菌活性的抑制作用 [J]. 中国油料作物学报,2006,28(1):63-66.
Wei Q,Li Q,Luo Y,et al. Antifungal activity of leaf essential oil from *Cinnamomum longepaniculatum* N. Chao ex H. W. Li [J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences,2006,28(1):63-66. (in Chinese)
- [7] 官 珊,钟国华,孙之潭,等. 植物内生真菌的研究进展 [J]. 仲恺农业技术学院学报,2005,18(1):61-66.
Guan S,Zhong G H,Sun Z T,et al. Research advances on endophytic fungi of plant [J]. Journal of ZhongKai University of Agriculture and Technology,2005,18(1):61-66. (in Chinese)
- [8] 王 涛,游 玲,黄乃耀,等. 油樟内生真菌多样性与对植物病原菌的抑菌活性 [J]. 江苏农业科学,2009(1):98-100,101.
Wang T,You L,Huang N Y,et al. Pilot study on antifungal activities against phytopathogenic fungi and Cellulose-Decomposing of endophytic bacteria isolated from *Cinnamomum longepaniculatum* N. Chao ex H. W. Li [J]. Jiangsu Agricultural Sciences,2009(1):98-100,101. (in Chinese)
- [9] 伍晓林,侯兆伟,陈 坚,等. 采油微生物发酵液中有有机酸(醇)的 GC-MS 分析 [J]. 大庆石油地质与开发,2005,24(1):93-95.
Wu X L,Hou Z W,Chen J,et al. Analysis on organic acid (alcohol) of fermentative products of microorganisms for oil recovery [J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing,2005,24(1):93-95. (in Chinese)
- [10] 罗诗文,赵凤英,罗国添,等. 干玫瑰花挥发性成分的提取及 GC-MS 分析 [J]. 南昌大学学报:理科版,2006,30(6):577-579.
Luo S W,Zhao F Y,Luo G T,et al. Extraction and identification of volatile components in rose by GC-MS [J]. Journal of Nanchang University:Natural Science,2006,30(6):577-579. (in Chinese)
- [11] 陶光复,丁靖垵,孙汉董. 湖北油樟叶精油的化学成分 [J]. 武汉植物学研究,2002,20(1):75-77.
Tao G F,Ding J K,Sun H D. The Chemical constituents of the essential oil from leaves of *Cinnamomum longepaniculatum* N. Chao ex H. W. Li in Hubei,China [J]. Journal of Wuhan Botanical Research,2002,20(1):75-77. (in Chinese)
- [12] 何金环,李存法,梁月丽,等. 植物细胞活性氧及其胞内信号传递 [J]. 河南农业科学,2005(8):18-20.
He J H,Li C F,Liang Y L,et al. Reactive oxygen species and signaling transduction in plant cell [J]. Journal of Henan Agricultural Science,2005(8):18-20. (in Chinese)
- [13] 李 建,刘宏娟,张建安,等. 微生物油脂研究进展及展望 [C]//中国化工学会. 2007 年国际现代化工技术论坛暨第 2 届全国化工应用技术开发热点研讨会论文集. 苏州:现代化工,2007:133-136.
Li J,Liu H J,Zhang J A,et al. Progress of research and perspectives on microbial oils [C]//Chemical Industry and Engineering Society of China. Proceeding of international modern chemical technology forum and national chemical application technology development hotspots seminar, Suzhou: Modern Chemical Industry,2007:133-136. (in Chinese)
- [14] 王静平,孟绍江,李京民. 樟科植物中脂肪酸成分的分布 [J]. 植物学报,1985,27(2):177-185.
Wang J P,Meng S J,Li J M. Studies on the distribution of fatty acids in the oils of the family *lauraceae* [J]. Journal of Integrative Plant Biology,1985,27(2):177-185. (in Chinese)
- [15] 朱国胜,桂 阳,黄永会,等. 中国种子植物内生真菌资源及菌植协同进化 [J]. 菌物研究,2005,3(2):6-13.
Zhu G S,Gui Y,Huang Y H,et al. The endophytic fungus resources of spermatophyte in China and their coevolution [J]. Journal of Fungal Research,2005,3(2):6-13. (in Chinese)
- [16] Peters S,Aust H J,Draeger S,et al. Interactions in dual cultures of endophytic fungi with host and nonhost plant calli [J]. Mycologia,1998,90(3):360-367.
- [17] 张玲琪,谷罄建,邵 华,等. 发酵产鸢尾酮真菌的分离鉴定及产香特性的初步研究 [J]. 菌物系统,1999,18(1):49.
Zhang L Q,Gu X J,Shao H,et al. Isolation,determination and aroma product characterization of fungus producing irone [J]. Mycosystema,1999,18(1):49. (in Chinese)
- [18] Gary S,Bryn D. Bioprospecting for microbial endophytes and their natural products [J]. Microbiology and Molecular Biology Reviews,2003,67(4):491-502.