

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3142.2014.04.018

李群, 谭韵雅, 王平, 等. 大叶桉叶水浸提液成分分析[J]. 广西植物, 2014, 34(4): 520—524

Li Q, Tan YY, Wang P, et al. Composition analysis on water leaching solution of *Eucalyptus robusta* leaf[J]. *Guihaia*, 2014, 34(4): 520—524

## 大叶桉叶水浸提液成分分析

李群<sup>1</sup>, 谭韵雅<sup>1</sup>, 王平<sup>3</sup>, 魏琴<sup>2\*</sup>, 钱双<sup>2</sup>, 石丹<sup>2</sup>(1. 四川师范大学 生命科学学院, 成都 610101; 2. 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; 3. 四川省简阳中学, 四川 简阳 641400)

**摘要:** 为进一步明确大叶桉的化学成分, 对大叶桉叶水浸提液分别用不同极性的有机溶剂石油醚、乙酸乙酯和正丁醇进行萃取, 对各萃取相进行 GC-MS 分析。结果表明: 大叶桉叶水浸提液共含有 37 种化合物, 其中, 石油醚萃取相中含有 20 种, 主成分为草酸丁基异己酯(37.24%); 乙酸乙酯萃取相中含有 16 种, 主成分为 2,2-二亚甲基双[6-(1,1-二甲基乙基-4-甲基)]-苯酚(50.05%); 正丁醇萃取相中含有 5 种, 主成分为丙基-2-甲基丁酸酯(54.57%)。在所有成分中, 酯类物质居多, 也有少量的烯、酮、醇、苯和烷烃。1-甲基, 4-(1-甲基乙基)-1,4 环己二烯、2,2-二亚甲基[6-(1,1-二甲基乙基)-4-甲基]苯酚、1-十八烯和二十烷为石油醚和乙酸乙酯的共有成分; 1,2-苯二甲酸单(2-乙基己基)酯为乙酸乙酯和正丁醇的共有成分。该研究进一步明确了大叶桉的化学成分, 为在医药、化工和化感方面的应用研究奠定了基础。

**关键词:** 大叶桉; 水浸提液; GC-MS; 成分分析

**中图分类号:** Q949.772 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3142(2014)04-0520-05

## Composition analysis on water leaching solution of *Eucalyptus robusta* leaf

LI Qun<sup>1</sup>, TAN Yun-Ya<sup>1</sup>, WANG Ping<sup>3</sup>, WEI Qin<sup>2\*</sup>, QIAN Shuang<sup>2</sup>, SHI Dan<sup>2</sup>(1. College of Life Sciences, Sichuan Normal University, Chengdu 610101, China; 2. Key Laboratory  
of Yibin College Fermentation Resources Universities of Sichuan, Yibin 644000, China;  
3. Sichuan Jianyang Middle School, Jianyang 641400, China)

**Abstract:** With different polarity organic solvent extracted water leaching solution of *Eucalyptus robusta* leaf and analyzed by gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) in order to make a clear definition of the chemical components. 37 compounds were identified. Among them, the petroleum ether extraction phase contained 20 kinds and main component was oxalic acid, butyl isohexyl ester (37.24%); Ethyl acetate extraction phase contained 16 kinds and main component was phenol, 2,2'-methylenebis[6-(1,1-dimethylethyl)]-4-methyl- (50.05%); N-butanol extraction phase contains 5 kinds and main component was butanoic acid, 2-methylpropyl ester (54.57%). Of all the ingredients, ester material in the majority, also had a small amount of olefin, ketones, alcohols, benzene and alkane. 1,4-Cyclohexadiene, 1-methyl-4-(1-methylethyl)-, phenol, 2'-methylenebis[6-(1,1-dimethylethyl)-4-methyl-, 1-octadecene and eicosane for petroleum ether and ethyl acetate common composition, 1,2-benzenedicarboxylic acid, mono(2-ethylhexyl) ester for ethyl acetate and n-butanol common composition. The study further defined the chemical components of *E. robusta* and built the foundation for its application in pharmaceutical, chemical and allelopathy.

**Key words:** *Eucalyptus robusta*; water leaching solution; GC-MS; component analysis

收稿日期: 2013-11-29 修回日期: 2014-01-29

基金项目: 四川省教育厅项目(08ZA002); 四川省科技计划项目(2010JY0093); 四川省青年科技创新研究团队项目(2011JTD0035); 宜宾市科技局项目(2011ZSF008)。

作者简介: 李群, 女, 重庆秀山人, 博士, 副教授, 从事资源植物学领域研究, (E-mail)liqun01234@163.com。

\*通讯作者: 魏琴, 博士, 教授, 从事资源植物学领域研究, (E-mail)weiqin2001-67@163.com。

大叶桉 (*Eucalyptus robusta*) 为桃金娘科 (Myrtaceae) 桉属 (*Eucalyptus*) 常绿乔木植物, 是世界三大速生树种之一 (HillK *et al.*, 1995)。多年来, 对包括大叶桉在内的桉属植物成分研究主要集中在两方面: 一是挥发油成分分析和利用研究。桉属植物挥发油主要成分为 1,8-桉叶油素、 $\alpha$ -蒎烯、4-松油烯醇、 $\alpha$ -松油醇、蓝桉醇等 (陈虹霞等, 2010; 陈月圆等, 2010; 黄炳生等, 2012), 这些成分广泛用于医药、化工原料、香料调味、香水及化妆品制作等 (何耀松等, 2007; Liu *et al.*, 2008)。二是桉树化感作用的研究, 大多数桉属植物具有不同程度的化感作用 (朱宇林等, 2011; 王静等, 2013; Zhang *et al.*, 2010)。桉属植物化感成分比较复杂, 包括烷烃、烯烃、芳香烃、醇、醛、酮、萜醌、萜类、烯酸酯、芳香酸酯等多种成分 (陈秋波等, 2004; 王晗光等, 2006)。

大叶桉成分分析和利用方面的研究仅见挥发油成分分析和利用的报道 (兰美兵等, 2012; 唐伟军等, 2006)。化感作用的研究也仅见甲醇提取物的化感作用 (王静等, 2013)。众所周知, 植物中所含成分非常复杂, 弄清植物成分需用不同溶剂采用不同提取方式来获得。大叶桉甲醇提取物具有较强的化感作用 (王静等, 2013), 但常用溶剂水浸提液的成分是什么, 是否具有化感作用, 目前尚未见报道。本研究以大叶桉叶水浸提液为材料, 用不同极性的有机溶剂进行萃取, 并对其成分进行 GC-MS 分析, 在下一步研究中进一步明确成分的作用, 旨在进一步明确大叶桉的化学成分, 为其成分在医药、化工和化感方面的应用研究奠定基础。

## 1 材料与仪器

### 1.1 材料

所采植物叶片来自宜宾学院校园内, 经宜宾学院魏琴教授鉴定为大叶桉 (*Eucalyptus robusta*)。

### 1.2 仪器

Aglient-7890A/5975C GC-MS; RE-52CS 旋转蒸发仪; 电子天平 (万分之一, 赛多利斯), 化学试剂均为分析纯。

## 2 实验与方法

### 2.1 样品制备

将采集的大叶桉叶片剪下, 用蒸馏水清洗干净,

擦干, 将叶片剪成细条状。准确称量 40.0000 g 叶片, 加入蒸馏水 1 000 mL, 放入粉碎机中粉碎, 过 40 目筛, 过滤, 滤液放入冰箱中冷冻保存备用。

将上述水提液用分液漏斗进行水相和油相分离, 去掉油相, 将水相于 60 °C 水浴下旋转蒸发浓缩。旋蒸后分别用等体积的石油醚、乙酸乙酯、正丁醇各萃取 3 遍。合并各自萃取液。将石油醚萃取物于 40 °C 旋蒸至无石油醚后, 用 100 mL 乙醚溶解、过滤, 滤液备用; 正丁醇萃取物, 加入无水硫酸钠脱水处理后备用。

### 2.2 GC-MS 分析条件

2.2.1 气相色谱条件 色谱柱为 OPTIMA-5 POLYMINIDE 340 °C 30 m: 30 m×250  $\mu$ m×0.25  $\mu$ m; 柱温 40 °C, 时间保留 1 min, 首先以 2 °C/min 的速率升至 60 °C 保持 1 min, 然后以 20 °C/min 的速率升至 220 °C 保持 1 min, 最后以 10 °C/min 的速率升至 300 °C 保持 8 min; 汽化室温度 300 °C, 进样量为 1.0  $\mu$ L, 载气 He, 载气流量为 1 mL/min 不分流。

2.2.2 质谱条件 EI 离子源; 离子源温度为 230 °C; 电子能量为 69.9 eV; 发射电流是 34.6  $\mu$ A; 电子倍增器电压 1 624 V; 扫描范围是 10-701 amu。

### 2.3 数据分析

挥发性成分经质谱扫描后, 在色谱工作站得到总离子流量图, 经 NISTDEMO 标准谱库检索, 从特征离子及相对丰度等方面进行比较, 确定各色谱峰对应的化学成分。挥发性成分的相对质量分数采用峰面积归一法进行计算, 即鉴定出的挥发性成分的峰面积占色谱流出峰总面积的百分比表示。

## 3 结果与分析

### 3.1 样品处理方法

本研究选择非极性溶剂石油醚、中等极性溶剂乙酸乙酯、极性溶剂正丁醇萃取大叶桉植物叶水提液, 目的是将水提液中的脂溶性成分按照极性大小分别提取, 有助于 GC-MS 的分析, 特别是成分种类较多的情况下优势突出。

### 3.2 GC-MS 分析结果

图 1~3 分别为石油醚、乙酸乙酯和正丁醇萃取大叶桉叶水浸提液的气相色谱图。从图 1~3 总离子色谱图中可以看出, 质谱基线稳定且响应值低, 挥发性成分可以有效分离, 鉴定出的挥发性成分的色

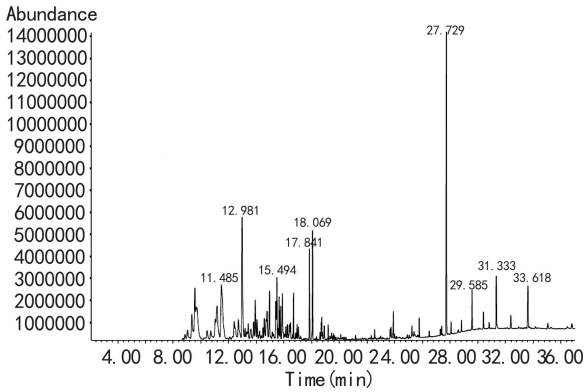


图1 大叶桉石油醚萃取物的GC-MS总离子色谱图  
Fig. 1 Total ion chromatogram of petroleum ether extractive of *Eucalyptus robusta* by GC-MS

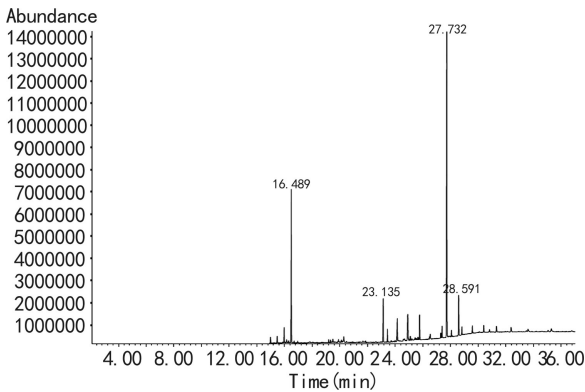


图2 大叶桉乙酸乙酯萃取物的GC-MS总离子色谱图  
Fig. 2 Total ion chromatogram of ethyl acetate extractive of *Eucalyptus robusta* by GC-MS

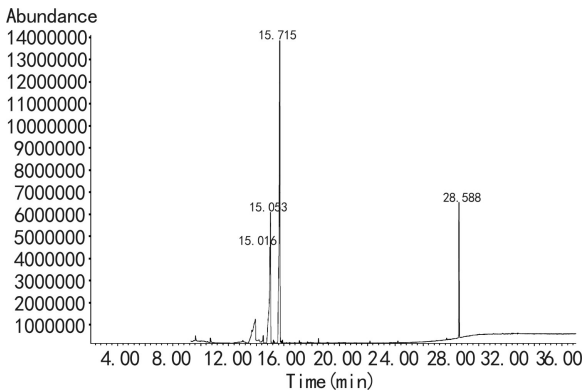


图3 大叶桉叶正丁醇萃取物的GC-MS总离子色谱图  
Fig. 3 Total ion chromatogram of N-butyl alcohol extraction of *Eucalyptus robusta* leaf by GC-MS

谱峰出峰时间大都集中在13~28 min之间。共得到37个色谱峰。

各峰GC含量均由峰面积归一化法得出(表

1)。从表1可知,在石油醚萃取物中鉴定出20个化合物,占整个进样样品的3.28%。其中含量在1.0%以上成分占71%左右,含量最多的成分为草酸丁基异己酯,达37.24%。乙酸乙酯萃取物鉴定出16个化合物,占整个进样样品的3.40%;其中含量在1.0%以上成分占62%左右,含量最多的成分为2,2-二亚甲基双[6-(1,1-二甲基乙基-4-甲基)]-苯酚,达50.05%;正丁醇萃取物鉴定出5个化合物,占整个进样样品的11.35%。5种成分的含量均在1.0%以上,其中含量最多的为丙基-2-甲基丁酸酯,达54.57%。

从表1看出,三种溶剂萃取所得化学成分差异较大,除1-甲基,4-(1-甲基乙基)-1,4-环己二烯、2,2-二亚甲基[6-(1,1-二甲基乙基)-4-甲基]苯酚、1-十八烯和二十烷为石油醚和乙酸乙酯的共有成分,1,2-苯二甲酸单(2-乙基己基)酯为乙酸乙酯和正丁醇的共有成分外,其余成分仅为某种溶剂所有,表明水提液中成分较为丰富。在所有成分中,酯类物质居多,除此之外,也有少量的烯、酮、醇、苯和烷烃。

## 4 讨论与结论

除了桉叶油以外,桉属植物的其它次生代谢产物也具有较弱的化感作用(陈秋波等,2004;王晗光等,2006;Fang *et al.*, 2009; Ahmed *et al.*, 2008)。化感物质主要来源于植物地上部的淋洗和挥发、根的分泌及植物残体的腐解等四个途径(戚建华等,2004),其中三个途径涉及水溶液成分,目前用水浸提液研究化感作用的报道较多。大叶桉化感成分的研究仅见王静等(2013)用甲醇提取大叶桉叶的化感作用研究。大叶桉叶水浸提液方面的研究未见报道。本研究以大叶桉叶水浸提液为试材,用三种极性不同的溶剂萃取,分析出更多的化学成分。结果表明,大叶桉叶水浸提液中代谢产物成分较丰富,共检测到37种成分。在三种溶剂萃取的成分中,含量最多的成分各不相同。值得注意的是,2,2-二甲基双[6-(1,1-二甲基乙基-4-甲基)]-苯酚在石油醚和乙酸乙酯萃取物中都存在,而且含量都较多,它是否与化感作用有关,关系多大,还有待进一步的研究。

大叶桉叶水浸提液检测出的化学成分和挥发油中检测出的化学成分相比较,差异较大。大叶桉挥发油中的成分主要是单萜和含氧单萜,其中单萜中的 $\alpha$ -蒎烯含量最多。除此之外还有桉油素、百里香

表 1 大叶桉叶水浸提液的化学组成

Table 1 Chemical constituents of water leaching solution of *Eucalyptus robusta* plant leaf

序号 No.	化合物名称 Chemical constituents	石油醚萃取物含量 Extraction contents of petroleum ether (%)	乙酸乙酯萃取物含量 Extraction contents of ethyl acetate (%)	正丁醇萃取物含量 Extraction contents of N-butyl alcohol (%)
1	1,2-Benzenedicarboxylic acid, butyl -methylpropyl ester, 1,2 苯二甲酸-丁基-2-甲基丙基酯	2.68		
2	1,2-Benzenedicarboxylic acid, mono (2-ethylhexyl) ester, 1,2-苯二甲酸单(2-乙基己基)酯		5.08	26.07
3	1,4-Cyclohexadiene, 1-methyl-4-(1-methylethyl)-, 1-甲基, 4-(1-甲基乙基)-1,4 环己二烯	1.60	16.80	
4	13-Methylhentriacontane, 13-甲基三十一烷		0.98	
5	1-Acetoxynonadecane, 1-乙酰氧基十九烷		1.49	
6	1H-Cycloprop[e]azulene, decahydro-1,1,7-trimethyl-4-methyl-ene-, [1aR-(1a.alpha.,4a.beta.,7.alpha.,7a.beta.,7b.alpha.)]-香橙烯	0.42		
7	1-Octadecene, 1-十八烯	1.53	3.20	
8	3,4-Altrosan		1.27	
9	3-Methyl-1-[(1H)-1,2,4-triazol-1-yl] butan-2-one, 3-甲基-1-[(1H)-1,2,4-三氮唑-1基]丁酮		0.84	
10	4H-1-Benzopyran-4-one, 5,7-dihydroxy-2-methyl-5,7-二羟-2-甲基-4H-1-苯并吡喃-4-酮		4.06	
11	4-Heptanone, 3-methyl-, 3-甲基-4-庚酮			3.40
12	5-Eicosene, (E)-, (E)-5-二十烯	1.04		
13	9-Octadecenoic acid (Z)-, methyl ester (Z)-9-十八烯酸甲基酯		5.94	
14	9-Octadecenoic acid, (E)-, (E)-9-十八烯酸	1.91		
15	Benzene, (1-ethylpropyl)-, (1-乙基丙基)苯	0.53		
16	Benzene, 1-methyl-2-(1-methylethyl)-, 1-甲基-2-(1-甲基乙基)苯		1.91	
17	Benzeneacetic acid, .alpha.-methoxy-. alpha.-trifluoromethyl-, 3-methylcyclohexyl ester trans-反-苯乙酸-a-甲氧基-a-三氟甲基-3-甲基环己烷酯	2.41		
18	Benzyl Alcohol, 苯甲醇			
19	Butanoic acid, 2-methylpropyl ester 丙基-2-甲基丁酸酯			54.57
20	3-Hexanol, 2-methyl-, 2-甲基-3-己醇			2.54
21	Cyclopentane, 1-ethyl-1-methyl-, 1-乙基-1-甲基环戊烷	2.36		
22	Eicosane, 二十烷	0.95	0.63	
23	Hexadecanoic acid, methyl ester, 棕榈酸甲酯		1.43	
24	Methanone, (2-methylphenyl) phenyl-, (2-甲基苯)苯甲酮	0.83		
25	Naphthalene, 1,2,3,4-tetrahydro-1,1,6-trimethyl-, 1,2,3,4-四羟基-1,1,6-三甲基萘	0.53		
26	n-Hexadecanoic acid, n-棕榈酸	1.12		
27	Octadecane, 十八烷	1.15		
28	Octadecanoic acid, 十八酸	1.17		
29	Octadecanoic acid, methyl ester, 硬脂酸甲酯		0.59	
30	Oxalic acid, butyl isohexyl ester, 草酸丁基异己酯	37.24		
31	Oxiraneoctanoic acid, 3-octyl-, methyl ester, cis-顺环氧乙烷辛酸-3-辛基-甲酯		0.76	
32	Phenol, 2,2'-methylenebis[6-(1,1-dimethylethyl)-4-methyl-2,2-二甲基[6-(1,1-二甲基乙基)-4-甲基]苯酚	27.24	50.05	
33	Phthalic acid, isobutyl undecyl ester, 邻苯二甲酸异丁基十一烷基酯		4.96	
34	Propanoic acid, 2-methyl-, 2-methylpropyl ester 丙基-2-甲基-2-甲基丙酸酯			13.42
35	Sulfurous acid, cyclohexylmethyl hexyl ester 亚硫酸甲基环己烷己基酯	4.46		
36	Sulfurous acid, cyclohexylmethyl tetradecyl ester 亚硫酸环己烷甲基十四烷基酯	7.76		
37	Undecane, 十一烷	1.44		

酚、蓝桉醇、1-油酮、 $\alpha$ -水芹烯、 $\beta$ -蒎烯等(刘玉明等, 2004; 叶舟, 2007)。而本研究中, 检测出的成分大部分为酯类, 如草酸丁基异己酯、丙基-2-甲基丁酸酯、

1,2-苯二甲酸单(2-乙基己基)酯等, 少部分为烯、酮、醇、苯和烷烃。即使同为某一大类, 具体成分也相差很大。这符合物质的溶解性基本规律。因为桉



叶油是极性很小的成分组成,而水浸提液用不同极性的有机溶剂萃取后所得成分的极性均大于桉叶油,所以它们之间的成分不会有重叠。另外,大叶桉叶水浸提液成分和巨桉根用正己烷做浸提剂所得成分相比较发现,成分也有不同,但有类似的成分,比如一些烷烃、酯类和苯酚等(王晗光等,2006),且有研究表明,这些成分参与了化感作用(谭仁祥等,2003),说明本研究获得的成分也可能是大叶桉化感成分的一部分,但有待证实。该研究为大叶桉化感作用深入探讨奠定了可靠的化学物质基础。

## 参考文献:

- Ahmed R, Hoque ATMR, Hossain MK. 2008. Allelopathic effects of leaf litters of *Eucalyptus camaldulensis* on some forest and agricultural crops[J]. *J For Res*, **19**(1):19-24
- Chen HX(陈虹霞), Wang CZ(王成章). 2010. Chemical compositions of essential oil of four *Eucalyptus* leaves from africa(4种非洲桉树叶挥发油的化学成分研究)[J]. *Biomass Chem Engin*(生物质化学工程), **44**(6):23-27
- Chen QB(陈秋波), He LM(贺利民), Yuan HQ(袁洪球), et al. 2004. Identification and quantitation of allelochemicals from fresh leaves of *Eucalyptus* ABL12(刚果12号桉叶化感物质的初步分离分析)[J]. *Chin J Trop Crop*(热带作物学报), **25**(4):84-91
- Chen YY(陈月圆), Lu FL(卢凤来), Li DB(李典鹏), et al. 2010. Analysis of volatile constituents of different types of *Eucalyptus* leaf by GC-MS(不同品种桉树叶挥发性成分的GC-MS分析)[J]. *Guihaia*(广西植物), **30**(6):895-898
- Fang B, Yu S, Wang Y, et al. 2009. Allelopathic effects of *Eucalyptus urophylla* on ten tree species in south China[J]. *Agroforestry systems*, **76**(2):401-408
- He YS(何耀松), Zhang JD(张继东). 2007. Progress on chemical constituents and pharmacological effects of *Eucalyptus*(桉树化学成分及药理作用研究进展)[J]. *Prog Veter Med*(动物医学进展), **28**(7):98-101
- Hillk D, Johnson LAS. 1995. Systematic studies in the *eucalyptus*. A revision of the bloodwoods genus *Corymbia* (Myrtaceae)[J]. *Telopea*, **6**(2/3):185-504
- Huang BS(黄炳生), Zhou XL(周晓农), Zhu D(朱丹), et al. 2012. Study on the chemical constituents of essential oil from the leaf of *Eucalyptus urophylla* in Guangdong(广东产尾巨桉叶挥发油化学成分的GC-MS分析)[J]. *J Chin Med Mat*(中药材), **35**(8):1268-1270
- Huang Y(黄瑶), Tian YH(田玉红), Liu XM(刘雄民), et al. 2010. Study on the composition and its antimicrobial effects of essential oils from leaves of *Eucalyptus urophylla*(尾巨桉叶精油的成分分析及抑菌效果初探)[J]. *Northern Hort*(北方园艺), (6):26-28
- Lan MB(兰美兵), Li XH(李啸红), Yu YL(余永莉), et al. 2012. Study on chemical constituents and genotoxicity of volatile oil in folium *Eucalyptus robusta* from Guangdong(广东产大叶桉叶挥发油的化学成分和遗传毒理学研究)[J]. *Pharmac Clin Chin Mat Med*(中药药理与临床), **28**(6):82-85
- Liu X, Chen Q, Wang Z, et al. 2008. Allelopathic effects of essential oil from *Eucalyptus grandis* × *E. urophylla* on pathogenic fungi and pest insects[J]. *Front For Chin*, **3**(2):232-236
- Liu XX(刘小香), Xie LL(谢龙莲), Chen QB(陈秋波), et al. 2004. A review of allelopathic researches on *Eucalyptus*(桉树化感作用研究进展)[J]. *Chin J Trop Agric*(热带农业科学), **24**(2):54-61
- Liu YM(刘玉明), Chai YF(柴逸锋), Wu YT(吴玉田), et al. 2004. Study on GC-MS analysis of volatile oil constituents from *Eucalyptus globulus* fruit and *Eucalyptus robusta* fruit(GC-MS对蓝桉果实及大叶桉果实挥发油成分研究)[J]. *Chin J Pharmac Anal*(药物分析杂志), **24**(1):24-26
- Qi JH(戚建华), Liang YL(梁银丽), Liang ZS(梁宗锁). 2004. The review of researching Allelopathy in agro-ecosystem(农业生态系统中化感作用研究综述)[J]. *Acta Agric Bor-Occid Sin*(西北农业学报), **13**(2):115-118
- Song AH(宋爱华), Wang Y(王颖), Liu YM(刘艳梅). 2009. Study on GC-MS analysis of volatile oil constituents from *Eucalyptus globulus* labill leaf(蓝桉叶挥发油化学成分的气相色谱-质谱分析研究)[J]. *Food & Drug*(食品与药品), **11**(1):31-32
- Tang WZ(唐伟军), Zhou JF(周菊峰), Li XN(李晓宁), et al. 2006. Study on the chemical components in leaf essential oil of *Eucalyptus robusta*(大叶桉叶挥发油的化学成分研究)[J]. *J Anal Sci*(分析科学学报), **22**(2):182-186
- Tan RX(谭仁祥). 2003. plant functional constituents(植物成分功能)[M]. Beijing(北京):Science Press(科学出版社):35-60
- Tian YH(田玉红), Liu XM(刘雄民), Zhou YH(周永红), et al. 2007. Chemical compositions of essential oil of *Eucalyptus umbellate* growing in Guangxi(圆角桉叶精油的化学成分)[J]. *Food Sci*(食品科学), **28**(1):36-38
- Wang HG(王晗光), Zhang J(张健), Yang WS(杨婉身), et al. 2006. Analysis of volatile allelopathic constituents of leaf of *Eucalyptus grandis* by gas chromatography-mass spectrometry(气相色谱-质谱法分析巨桉叶的挥发性化感成分)[J]. *J Sichuan Agric Univ*(四川农业大学学报), **24**(1):51-54
- Wang HG(王晗光), Zhang J(张健), Yang WS(杨婉身), et al. 2006. Report of three different extractions on the allelopathic substances in root of *Eucalyptus grandis*(3种方法提取巨桉树根的化感成分分析报告)[J]. *J Hebei Norm Univ: Nat Sci Edit*(河北师范大学学报·自然科学版), **30**(4):464-467,477
- Wang J(王静), Wang L(王磊), Li YQ(李永青), et al. 2013. Study on herbicidal activity of three *Eucalypt* leaf extracts(3种桉树叶提取物除草活性研究)[J]. *Chin Agric Sci Bull*(中国农学通报), **29**(6):191-194
- Yin QH(殷清华), Liang ZY(梁振益), Lin ZH(林昭华), et al. 2008. revision of the bloodwoods genus *Corymbia* (Myrtaceae)(桉树叶挥发油化学成分的研究)[J]. *Telopea*(化学分析计量), **17**(3):30-31
- Zhu YL(朱宇林), Tan P(谭萍), Lu SF(陆绍锋), et al. 2011. Bioassay of allelopathic activity of water extract of *Eucalyptus* leaves on seed germination of different kinds of plants(桉树叶水浸提液对4种植物种子化感作用的生物测定)[J]. *J Northwest For Univ*(西北林学院学报), **26**(1):134-137
- Zhang D, Zhang J, Yang W, et al. 2010. Potential allelopathic effect of *Eucalyptus grandis* across a range of plantation ages[J]. *Ecol Res*, **25**(1):13-23