

DOI: 10.11931/guihaia.gxzw201502017

姚贻烈, 郑华, 陆小峰, 等. 广西北海拉关木挥发物的 ATD-GC/MS 分析及安全性评价[J]. 广西植物, 2016, 36(6):758-762

YAO YL, ZHENG H, LU XF, et al. Analysis of volatiles from *Laguncularia racemosa* in Beihai, Guangxi by ATD-GC/MS and evaluation on safe property of the tree[J]. *Guihaia*, 2016, 36(6):758-762

# 广西北海拉关木挥发物的 ATD-GC/MS 分析及安全性评价

姚贻烈<sup>1</sup>, 郑华<sup>2\*</sup>, 陆小峰<sup>1</sup>, 李坤<sup>2</sup>, 钟景春<sup>1</sup>, 宋国彬<sup>2</sup>, 陈大亮<sup>1</sup>

(1. 广西北海市防护林场, 广西 北海 536000; 2. 中国林业科学研究院 资源昆虫研究所, 昆明 650224)

**摘要:** 速生红树植物拉关木具有优良的耐盐抗污染特性,但其自身吸收海水污染物后对周边环境及人类是否安全引人关注,尤其是该树种释放的挥发性成分在嗅觉方面是否安全有待评价。该研究以其活体无损伤幼龄及成年枝叶(无花、开花及带果状态)的挥发物为对象,用动态顶空密闭循环吸附捕集方式采集样品后,经全自动热脱附—气相色谱/质谱(ATD-GC/MS)联用分析。结果表明:拉关木挥发物由萜烯、酮、羧酸等化合物组成,其中萜烯所占比例最高,而最优势成分 $\alpha$ -蒎烯在各试样中的相对百分含量均在3/4左右, $\beta$ -水芹烯、 $\beta$ -蒎烯等其它萜烯也具有较高含量,为10%~15%及在5%以上,萜烯类成分的存在与有关红树植物提取物化学成分的文献报道相吻合。试样中的其它少量成分呈松木、冬青、柑橘、桉树等香韵,部分成分具有中等强度的香比强度(ASV),如蒎烯(250)、苯甲醛(500)、苯乙酮(200)、壬醛(550)、水杨酸甲酯(450)等,部分成分的ASV值较低,如萜品油烯(异松油烯,120)、辛酸(100)、壬酸(100)、对伞花烃(80)等,但对总体气味均有一定的贡献度。由于拉关木挥发物中的各种成分总体有益于人体健康,且在日用香料香精产品中可广泛应用。因此,该树种在嗅觉方面安全、无毒,适合沿海植被恢复、景观及“芳香化”营造等,应用前景良好。

**关键词:** 拉关木, 嗅觉, 活体, 动态顶空, 全自动热脱附—气相色谱/质谱(ATD-GC/MS), 环境安全

**中图分类号:** Q946, S727.26 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3142(2016)06-0758-05

## Analysis of volatiles from *Laguncularia racemosa* in Beihai, Guangxi by ATD-GC/MS and evaluation on safe property of the tree

YAO Yi-Lie<sup>1</sup>, ZHENG Hua<sup>2\*</sup>, LU Xiao-Feng<sup>1</sup>, LI Kun<sup>2</sup>,  
ZHONG Jing-Chun<sup>1</sup>, SONG Guo-Bin<sup>2</sup>, CHEN Da-Liang<sup>1</sup>

(1. Shelterbelt Forest Farm of Beihai City, Beihai 536000, China; 2. Research Institute of Resources Insects, Chinese Academy of Forestry, Yunnan 650224, China)

**Abstract:** *Laguncularia racemosa* is a fast growing mangrove plant with excellent properties of anti-salt and waste prevention. But its safety to the environment and human beings need to evaluate when it absorbs polluted materials from the sea water, especially the safety on sense of smell of those volatile compositions released from the tree. For these concerns, volatiles from both the juvenile and adult branches without flowers or fruits were collected. And for the latter, it was also sampled branches with flowers and fruits. These samples were all obtained from the cultivation base for mangroves in Beihai, Guangxi Zhuang Autonomous Region, China, which was a suitable afforestation farm for this mangrove

收稿日期: 2015-02-09 修回日期: 2015-05-13

基金项目: 国家林业公益性行业科研专项(201004028)[Supported by the National Specific Item of Nonprofit Forestry Research(201004028)].

作者简介: 姚贻烈(1963-),女,广西北海人,大学本科,工程师,从事林业与环境管理工作,(E-mail)hua-zheng@sohu.com。

\*通讯作者: 郑华,博士,副研究员,主要从事天然产物化学利用研究,(E-mail)eastgeneva@163.com。

plant with relatively high stability. Such volatiles mentioned above were captured *in situ*, i.e. from the living and undamaged tree, by dynamic head-space adsorption within a close and air circular system, using a set of portable apparatus which was easily available to experimental operation in the fields. Then, their chemical compositions were analyzed using auto thermal-desorption gas chromatography/mass spectrometry (ATD-GC/MS). The results showed that terpenes, ketones, acids and other substances were detected in the tree volatiles, among which the highest content parts were terpenes. In all samples, over 3/4 of the total volatile percentage was  $\alpha$ -pinene, which shared the most preponderance of those compositions. Terpenes such as  $\beta$ -phellandrene and  $\beta$ -pinene were also with relatively high content, the former ranging nearly 10%–15% and the latter over 5%. It was concord with investigations on the constituents of those extracted chemicals from this tree and other mangrove plants such as *Aegiceras comiculatum*, as terpenes were found in all of them. The other less compounds also contributed to the total smell at some point, providing fragrances as pine wood, holly tree, orange, eucalyptus and other vegetations, although they were various in aroma strong value of fragrance or odor (ASV). Some substances were considered as mid-strong ASV chemicals, such as camphene (250), benzaldehyde (500), acetophenone (200), nonanal (550), methyl salicylate (450) etc., and others were considered as low ASV chemicals, such as terpinolene (120), octanoic acid (100), nonanoic acid (100), *p*-cymene (80), etc. For its benefit to human health, *L. racemosa* is probably available to daily cosmetics and flavors by using the volatiles widely. Due to the safe and non-toxic smelling, the tree can be regarded as a prospective species for seashore vegetation rebuilding, coastal eco-restoration and landscape/fragrance environment making in the urban beaches.

**Key words:** *Laguncularia racemosa*, sense of smell, *in situ*, dynamic head-space, auto thermal-desorption cryo-trapping gas chromatography/mass spectrometry (ATD-GC/MS), environment safety

我国自 20 世纪末以来,从国外引进了一些红树植物,试图恢复沿海生态,其中引自墨西哥南下加利福尼亚州首府拉巴斯市的拉关木(*Laguncularia racemosa*),又有假红树、白红树等称谓,属使君子科(Combretaceae),具有较好的速生、抗盐、抗寒能力(钟才荣等,2011;韩淑梅等,2010;田广红等,2012;雍石泉等,2011),尤其在滩面高度接近平均海平面的沙质地条件下,生长量远高于其它红树植物,可作为耐盐抗污染的滨海湿地植物材料(林文欢等,2014;张苇等,2013)。但其对水质净化的同时,植物体本身也吸收了海水中的污染物(陈玉军等,2014;陈坚等,2013),是否安全,目前尚无研究报告,而且国内外有关拉关木的学术文献也尚未涉及该植物的挥发性成分组成及含量变化等。

本研究选择我国各引种地中生长状况较为稳定的广西北海,对活体拉关木释放的挥发性成分加以采集和分析,力求从嗅觉成分角度评判其安全性,并为其推广应用提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

选择生长良好的拉关木枝条(均带叶)进行挥发物采集,包括幼龄和成年的活体植株,此外,还对

成年植株的带花和带果枝条进行挥发物采集。采样时间为小暑节气期间,地点位于广西北海红树林良种基地大冠沙裸根苗繁育区。

样品采集使用惰性采集袋(406 mm × 444 mm):美国 Reynolds 公司;气流循环依靠大气采样仪(QC-1 型):北京市劳动保护科学研究所;样品管预先净化处理使用热解吸仪活化定标器(HT6890 型):山东鲁南瑞虹化工有限公司;分析测试使用全自动热脱附(简称 ATD, Turbo Matrix 650)及气相色谱(简称 GC, Clarus 600)/质谱(简称 MS, Clarus 600T)联用仪:美国 Perkin Elmer 公司,并用 TurboMass 5.4.2 进行谱库检索及相关数据处理。

吸附剂为 Tenax-GR(进口分装),分别称取若干份 10 mg 量,均匀填充于样品管中,两端用 PTFE 材质管套密封。样品管为玻璃热脱附管(6.35 × 88.9 mm):美国 Perkin Elmer 公司。

### 1.2 方法

1.2.1 挥发物捕集 将活体未损伤状态的拉关木待采样品分别套入采集袋,检查密封无漏气后,用大气采样仪排空袋内原有气体并重新注入足量新鲜、经活性炭过滤的气体。在密闭循环气流条件下采集 20 min,取出样品管,密封两端,低温保存至样品检测。

1.2.2 热脱附 选择恒流模式的载气(流速 2.0 mL ·

min<sup>-1</sup>);样品管温度设定为一级热脱附温度 260 ℃,加热 10 min,该过程中的冷阱温度设为-30 ℃;冷阱升温速率(从一级至二级热脱附过程中,40 ℃·s<sup>-1</sup>);二级热脱附温度设定至 300 ℃并保持 5 min;用进口分流和一般干吹的热脱附方式,时间为 1 min,设置脱附流量 25.20 mL·min<sup>-1</sup>、入口分流流量 15.20 mL·min<sup>-1</sup>、出口分流流量 20.00 mL·min<sup>-1</sup>。

1.2.3 气相色谱 色谱柱为毛细柱(Elite-5 MS,30 m×0.32 mm,0.25 μm);升温程序为 40 ℃保持 2 min,以 6 ℃·min<sup>-1</sup>升至 130 ℃,保持 5 min,再以 15 ℃·min<sup>-1</sup>升至 280 ℃,保持 5 min。

1.2.4 质谱 分别设定离子源温度为 220 ℃、接口温度为 250 ℃;扫描速度按照每次扫描时间 0.2 s、恢复时间 0.1 s 进行设定;扫描质荷比(m/z)为 29~600 范围。

1.2.5 谱图检索及化合物成分鉴定 挥发物样品经 ATD-GC/MS 分析后,依次考察其总离子流(total ion current, TIC)图中的各有效峰,经谱库检索(标准谱库 NIST08),同时参考各化合物的保留时间顺序和相应的化学规则,逐一鉴定挥发物中的各有效成分,其相对百分含量依据峰面积归一化法算出。

## 2 结果与分析

### 2.1 幼龄及成年拉关木带叶枝条挥发物成分检测及其主要气味特征

表 1 列出了幼龄及成年拉关木带叶枝条的挥发物成分,其检测结果仅将正反匹配度(最大值均为 1 000)均大于 800 的化合物认定为有效。对于共有成分,保留时间以成年带叶枝条挥发物为基准列出。

由表 1 可见,拉关木幼龄带叶枝条挥发物共检出 99.52%的化合物,共 12 种;成年带叶枝条挥发物共检出 98.19%的化合物,共 10 种。其成分中绝大部分为萜烯类化合物,其中主成分 α-蒎烯在挥发物总量中所占比例超过 3/4,而 β-水芹烯所占比例在 10%±1.35% 范围内,β-蒎烯亦高于 5%。除以上较高含量的成分外,带叶枝叶中还含有少量的 β-月桂烯(幼龄样品中)、莰烯、3-蒎烯(成年样品中)、2-崖柏烯(成年样品中)、3-崖柏烯(幼龄样品中)等萜烯化合物,以及少量醛、酮、羧酸等其它类型化合物。因此,类似于某些松柏、花果类植物,拉关木无花枝叶样品的主要化学成分组成中富含蒎烯,而蒎烯作为“芬多精”物质中的第一成分,是天然“森林浴”所

表 1 拉关木带叶枝条(幼龄及成年)挥发物成分检测结果  
Table 1 Constituents of volatiles from the juvenile and adult branches without flowers or fruits of *L. racemosa*

保留时间 Retention time (min)	质荷比 Mass-to- charge ratio (m/z)	化合物 Compound	相对含量 Relative content(%)	
			幼龄 Juvenile	成年 Adult
7.981	93	3-崖柏烯 3-Thujene	0.43	N.D.
8.226	93	α-蒎烯 α-Pinene	79.88	77.68
8.727	93	莰烯 Camphene	0.92	0.88
9.187	77	苯甲醛 Benzaldehyde	0.25	0.36
9.557	93	2-崖柏烯 2-Thujene	N.D.	0.25
9.697	93	β-蒎烯 β-Pinene	5.58	5.74
10.202	93	β-月桂烯 β-Myrcene	1.01	N.D.
10.802	93	3-蒎烯 3-Carene	N.D.	0.40
11.413	119	对伞花烃 p-Cymene	0.25	0.26
11.628	93	β-水芹烯 β-Phellandrene	8.65	11.30
12.883	105	苯乙酮 Acetophenone	0.49	0.45
13.803	117	4-异丙烯基甲苯 Benzene, 1-methyl-4-(1-methylethenyl)-	0.51	N.D.
17.195	119	间伞花烃 m-Cymene	0.92	N.D.
20.291	60	壬酸 Nonanoic acid	0.63	0.86

注:表中,“N.D.”表示未检出。下同。

Note: “N.D.” means not detected. The same below.

需气息的关键部分,具有良好的保健功效,可起到镇静、降血压、祛痰、利尿、抗肿瘤、抗风湿、抗炎、抗组胺、抗菌、止泻、驱虫、杀虫、强壮、麻痹等作用(林翔云,2011)。挥发物中存在的少量对伞花烃具有胡萝卜样气味,常用于配制香柠檬油和肥皂、洗涤用香精;苯甲醛是常见的香料成分,具有果香(如杏仁、樱桃等香)、粉香、坚果、木香香韵;苯乙酮则呈强烈的金合欢似甜香气,具有类似苯甲醛的杏仁香,天然存在于岩蔷薇油、鸢尾油、可可、牛奶、覆盆子、豌豆、葡萄中;壬酸属于 C<sub>8</sub> 以上脂肪酸,通常无明显刺激性,广泛存在于苹果、香蕉、柑橘及各种干酪和玫瑰、香叶、鸢尾、酒花、薰衣草等精油中,兼具蜡香、浑浊

气、干酪带人造奶香、特有脂肪气息等(林翔云, 2007)。可见,拉关木带叶枝条所释放的挥发物成分均为安全、无毒、无刺激性的化合物,且具有萜类芳香特征的健康气味物质占主导地位,未表现出与海水污染物的关联性。

## 2.2 成年拉关木开花及带果枝叶挥发物成分的检测

表 2 列出了成年拉关木(开花及带果枝叶)的挥发物成分,其检测结果仅将正反匹配度(最大值均为 1 000)均大于 800 的化合物认定为有效。对于共有成分,保留时间以开花枝叶挥发物为基准列出。

由表 2 可见,成年拉关木开花枝叶挥发物共检出 96.92%的化合物,共 10 种,带果枝叶挥发物共检出 99.77%的化合物,共 9 种,与无花无果枝叶挥发物组成类似,其含量中绝大部分为萜烯类化合物,其中主成分  $\alpha$ -蒎烯在挥发物总量中所占比例为 3/4 左右, $\beta$ -水芹烯、 $\beta$ -蒎烯亦有较高含量,分别接近 10%~15%、高于 5%。而醛、酮、羧酸、酯所占比例甚微,其中苯甲醛、壬醛仅在开花样品中检出,前者呈天然果香、木香等香韵,后者具有脂肪及柑橘样风味;苯乙酮在两种样品中均有检出,具有金合欢及杏仁的香气;辛酸、壬酸仅在带果样品中检出,分别具有微弱水果酸和脂肪气息,总体呈果香;水杨酸甲酯(仅在开花样品中检出)是食品、牙膏、化妆品中广泛使用的香精,具有冬青树叶香气、青香带焦的药草香、樟脑香等方向气韵;萜品油烯(异松油烯)仅在带果样品中检出,其气味类似芳香的松木和微甜的柑橘(林翔云, 2007)。因此,结合 2.1 部分的分析结果,可见拉关木活体植株无论幼苗或成年枝叶,释放于大气环境中的挥发性气体主要是森林芳香类物质,并不含有来自海水污染物中的化合物成分,而是带有一定的果香、花香特征,用于海岸防护林、景观游憩植被等营造是安全的,其主体成分具有的萜类芳香气息有益于人体健康。与幼龄枝叶、成年枝叶(无花及开花状态)相比,成年带果枝叶的挥发物中未检出醛类化合物,其原因有待进一步探究。

## 2.3 挥发物中部分成分的香比强值及其应用

目前,要了解某香料或香精成分对加香产品的香气贡献程度,较直观的指标是香比强值(aroma strong value of fragrance or odor; ASV),可通过其反映香料或香精成分的香气强度(林翔云, 2007, 2011),越来越多的香料和香精调配、开发与贸易逐渐采用 ASV 作为重要数据。通常规定苯乙醇的香气强度等于 10,以此为基准,其它物质的 ASV 值与

表 2 成年拉关木开花及带果枝叶挥发物成分检测结果  
Table 2 Constituents of volatiles from the adult branches with flowers and fruits of *L. racemosa*

保留时间 Retention time (min)	质荷比 Mass-to- charge ratio (m/z)	化合物 Compound	相对含量 Relative content(%)	
			开花 With flowers	带果 With fruits
8.236	93	$\alpha$ -蒎烯 $\alpha$ -Pinene	77.69	74.45
8.727	93	茨烯 Camphene	1.12	0.87
9.192	77	苯甲醛 Benzaldehyde	0.41	N.D.
9.702	93	$\beta$ -蒎烯 $\beta$ -Pinene	5.58	5.75
10.207	93	$\beta$ -月桂烯 $\beta$ -Myrcene	N.D.	1.75
10.812	93	3-蒎烯 3-Carene	0.42	N.D.
11.423	119	对伞花烃 <i>p</i> -Cymene	0.61	N.D.
11.628	93	$\beta$ -水芹烯 $\beta$ -Phellandrene	9.79	14.29
12.893	105	苯乙酮 Acetophenone	0.42	0.13
13.608	93	萜品油烯 (异松油烯) Terpinolene	N.D.	0.24
14.419	57	壬醛 Nonanal	0.41	N.D.
17.010	60	辛酸 Octanoic acid	N.D.	0.60
17.425	120	水杨酸甲酯 Methyl salicylate	0.47	N.D.
20.451	60	壬酸 Nonanoic acid	N.D.	1.68

之参比后得出。

拉关木各样品的挥发物成分中,除优势成分  $\alpha$ -蒎烯、 $\beta$ -蒎烯、 $\beta$ -水芹烯是重要的香料香精基本成分外,含量较少的茨烯亦具有中等强度的 ASV 值(250),所贡献的气韵体现柑橘、松木、桉树等的清香;此外,挥发物中普遍还含有少量苯甲醛、苯乙酮,但这两种成分的 ASV 值分别可达 500、200(林翔云, 2011),在一定程度上增加了对总体气味中的果香贡献度;同样,仅在开花样品挥发物中检出的壬醛和水杨酸甲酯含量虽低,但 ASV 值较强(分别为 550 和 450)(林翔云, 2011),也可为总体气味提供柑橘香、冬青油香等贡献;而部分样品中检出的其它成分,如萜品油烯(异松油烯)、辛酸、壬酸、对伞花烃等,ASV 值较低(分别为 120、100、100、80)(林翔云,



2011),但所贡献的气味类型也均为松木、果蔬类。综上所述,拉关木挥发物中,主体成分蒎烯是“森林浴”、“森林医院”“森林疗法”不可或缺的“植物精气”、“芬多精”中的首要物质,具有镇静、降血压等十余种功效(林翔云,2011),而其它少量成分也均可在中强至较弱的程度范围内贡献松柏类及果蔬类青香,因此,其总体气味清新怡人,利于人类健康,具备今后开发利用的潜质。

目前对拉关木化学成分的研究较少,但已有报道发现其提取分离后的纯化物中存在降倍半萜硫酸半酯化合物(薛多清,2009),此外,有关其它红树植物(如桐花树等)的化学成分研究也证明其中含有萜类化合物(张道敬等,2005)。由此看来,本实验检出的挥发物成分中存在萜类成分具有合理性。

### 3 结论及展望

#### 3.1 结论

(1)拉关木带叶枝条(幼龄及成年)及开花枝叶、带果枝叶的挥发物总体组成较为简单,其主体成分为萜烯类化合物, $\alpha$ -蒎烯具有优势含量,在所有检测样品中的相对含量均接近或超过3/4,此外, $\beta$ -水芹烯、 $\beta$ -蒎烯等天然精油中常见的化合物也具有较高含量,分别接近10%~15%、高于5%。与已有文献对比可知,拉关木及其它红树植物的提取物成分中通常含有一定量的萜类物质,因而在挥发物中检出萜烯类化合物具有较合理、可靠的基础和依据。

(2)拉关木挥发物中其它少量萜烯及醛、酮、羧酸、酯类化合物亦呈松木、冬青、柑橘、桉树等气韵,可为总体气息提供较弱至中强的气味贡献度。因此,其挥发物的总体特征为自然萜类化合物气息,与某些松柏、花果类植物的芳香气味相似,对人体健康有益,且未受到海水污染物的影响,无毒、无刺激性,用于海岸植被恢复及景观效果营造时较安全,不会以嗅觉途径伤害人类。

#### 3.2 展望

活体拉关木枝叶的挥发物具有良好的嗅觉安全特性,在今后的海岸植被快速回复和产业综合利用中,可结合其天然的高“芬多精”含量优势,进一步发挥其青香的气韵特色,在沿海景观、游憩及芳香化林带建设中成为优选红树植物。

### 参考文献:

- CHEN J, LI NY, LIU Q, et al, 2013. Antioxidant defense and photosynthesis for non-indigenous mangrove species *Sonneratia apetala* and *Laguncularia racemosa* under NaCl stress [J]. *Chin J Plant Ecol*, 37(5): 443-453. [陈坚, 李妮亚, 刘强, 等, 2013. NaCl 处理下两种引进红树的光合及抗氧化防御能力 [J]. *植物生态学报*, 37(5): 443-453.]
- CHEN YJ, LIAO BW, LI M, et al, 2014. Field planting experiments of mangrove on high-salinity beaches [J]. *J S China Agric Univ*, 35(2): 78-85. [陈玉军, 廖宝文, 李玫, 等, 2014. 高盐度海滩红树林造林试验 [J]. *华南农业大学学报*, 35(2): 78-85.]
- HAN SM, LI NY, HE P, et al, 2010. Photosynthetic characteristics of introduced and indigenous mangrove seedlings in China [J]. *Acta Bot Boreal-Occident Sin*, 30(8): 1 667-1 674. [韩淑梅, 李妮亚, 何平, 等, 2010. 引种红树与中国乡土红树幼苗光合特性研究 [J]. *西北植物学报*, 30(8): 1 667-1 674.]
- LIN WH, ZHAN CA, ZHENG DX, et al, 2014. Study on afforestation of six mangrove species in sandy beach of Eastern Guangdong [J]. *Guangdong For Sci Technol*, 30(2): 69-71. [林文欢, 詹潮安, 郑道序, 等, 2014. 粤东沙质滩涂 6 种红树林树种造林试验研究 [J]. *广东林业科技*, 30(2): 69-71.]
- LIN XY, 2007. *Perfumery* [M]. 2nd Ed. Beijing: Chemical Industry Press. [林翔云, 2007. *调香术* [M]. 2 版. 北京: 化学工业出版社.]
- LIN XY, 2011. *Dictionary of flavor & fragrance* [M]. Beijing: Chemical Industry Press. [林翔云, 2011. *香料香精辞典* [M]. 北京: 化学工业出版社.]
- TIAN GH, LI M, YANG XB, et al, 2012. Adaptability evaluation on introduced mangrove species on Qi-ao Island of Zhuhai City [J]. *J Fujian For Sci Technol*, 39(1): 104-107. [田广红, 李玫, 杨雄邦, 等, 2012. 珠海淇澳岛红树林引进树种的适应性评价 [J]. *福建林业科技*, 39(1): 104-107.]
- XUE DQ, 2009. Study on chemical constituents and biological activities of 6 sponges and 1 mangrove plant [D]. Shanghai: Shanghai Institute of Materia Medica, Chinese Academy of Sciences. [薛多清, 2009. 六种海绵和一种红树林植物的化学成分及生物活性研究 [D]. 中国科学院上海药物研究所博士学位论文.]
- YONG SQ, TONG C, ZHUANG CH, et al, 2011. Effects of cold weather on seedlings of three mangrove species planted in the Min River estuary during the 2010 winter [J]. *Acta Ecol Sin*, 31(24): 7 542-7 550. [雍石泉, 仝川, 庄晨辉, 等, 2011. 2010 年冬季寒冷天气对闽江口 3 种红树植物幼苗的影响 [J]. *生态学报*, 31(24): 7 542-7 550.]
- ZHANG DJ, ZHANG S, WU J, et al, 2005. Pentacyclic triterpenes from *Aegiceras corniculatum* [J]. *Nat Prod Res & Dev*, 17(3): 306-308. [张道敬, 张懿, 吴军, 等, 2005. 桐花树五环三萜化学成分的研究 [J]. *天然产物研究与开发*, 17(3): 306-308.]
- ZHANG W, LIAO BW, LIU BE, 2013. Growth performance of mangrove on difficult site in Shuidong Bay in intertidal zones [J]. *Prot For Sci Technol*, (11): 1-3. [张苇, 廖宝文, 刘滨尔, 2013. 水东湾困难立地滩涂红树林生长表现分析 [J]. *防护林科技*, (11): 1-3.]
- ZHONG CR, LI SC, YANG YC, et al, 2011. Analysis of the introduction effect of a mangrove species *Laguncularia racemosa* [J]. *J Fujian For Sci Technol*, 38(3): 96-99. [钟才荣, 李诗川, 杨宇晨, 等, 2011. 红树植物拉关木的引种效果调查研究 [J]. *福建林业科技*, 38(3): 96-99.]