樟树系列丛书

柠檬醛型樟组树种优良单株筛选及其精油研究

主　编◎张北红

江西科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

柠檬醛型樟组树种优良单株筛选及其精油研究 / 张北红著. — 南昌 : 江西科学技术出版社, 2022.11
ISBN 978-7-5390-8271-4

Ⅰ.①柠… Ⅱ.①张… Ⅲ.①樟树-单株选择-研究 ②樟树-香精油-资源利用-研究 Ⅳ.①S792.23 ②TQ654

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2022)第 146691 号

选题序号:ZK2022183

国际互联网(Internet)地址:
http://www.jxkjcbs.com

柠檬醛型樟组树种优良单株筛选及其精油研究
NINGMENGQUANXING ZHANGZUSHUZHONG YOULING DANZHU SHAIXUAN JIQI JINGYOUYANJIU

张北红 著

出版发行 江西科学技术出版社有限责任公司
社址 南昌市蓼洲街 2 号附 1 号
邮编:330009 电话:(0791)86615241 86623461(传真)
印刷 江西骁翰科技有限公司
经销 各地新华书店
开本 787mm×1092mm 1/16
字数 240 千字
印张 12.75
版次 2022 年 11 月第 1 版
印次 2022 年 11 月第 1 次印刷
书号 ISBN 978-7-5390-8271-4
定价 58.00 元

赣版权登字-03-2022-201
版权所有,侵权必究
(赣科版图书凡属印装错误,可向承印厂调换)

《樟树系列丛书》编撰委员会

总 主 编： 金志农

副总主编： 杨光耀　胡加林　谢利玉　江香梅

王宗德　周　诚　余发新

委　　员： (按姓氏笔画为序)

王宗德　伍艳芳　江香梅　李　凤　肖祖飞

陈尚钎　余发新　张北红　张　露　杨光耀

金志农　周　诚　胡加林　钟永达　谢利玉

鲁向晖　黎祖尧

前　言

天然柠檬醛是一种重要的植物精油成分，广泛应用于医药、食品、化工等领域，极具经济价值及开发潜力，市场需求量大。我国天然柠檬醛目前主要来源于山鸡椒（*Litsea cubeba*（Lour.）*Pres.*），但山鸡椒的规模化开发利用仍存在雌雄异株、采摘果实人工成本高等制约因素，因此，天然柠檬醛市场长期处于供不应求的状态。富含柠檬醛的天然植物有十余种，其中樟组树种（Sect. Camphora（Trew）Meissn.）占近一半比例，且樟组树种的叶精油得率高，主要化学成分相对含量高，叶生物量大。因此，樟组树种是天然柠檬醛值得探索的新来源之一。本书介绍在樟组树种天然分布区内，对于化学型多样化的樟组树种进行筛选，利用筛选获得的柠檬醛型樟组树种样株，开展不同繁殖后代化学型分化、扦插后代叶精油及柠檬醛时空动态特征、扦插后代油细胞动态特征、光合特性、叶内生真菌和叶内生细菌群落组成及柠檬醛型香樟叶精油合成机制等研究。

参与本书编写工作的有：张北红（第 1 章、第 2 章、第 3 章、第 4 章、第 5 章、第 10 章），金志农（全书的构思、审阅、校订），刘苑秋（第 1 章至第 5 章的审阅、校订），程慧娟（第 7 章、第 8 章、第 9 章），肖祖飞（完成书稿整理及汇编）、侯杰希（第 6 章）。本书的编写得到了江西省樟树繁育与开发利用工程研究中心王颜波等老师，江西农业大学黎祖尧、王宗德、刘玮、陈尚钘等老师，金志农名师工作室的支持，在此深表感谢。

本书依托以下项目开展：江西省科技厅重点研发计划项目“四种樟属植物 1 型或 d 型芳樟优良品种选育及其产业化关键技术研究与示范”（2017ACH80016）、江西省林业局樟树研究专项“重要木本香料樟树全产业链开发共性关键技术研究与应用”（[2020] 07）、江西省重大科技研发专项“我国南方香料樟树高效种植与精深加工全产业链关键

技术研究与开发”(20203ABC28W016)、江西省林业科技创新专项项目“柠檬醛型和黄樟素型樟树优良品种选育”([2019]21)、2021 年国家大学生创新创业训练计划资助项目“樟树种质资源多样性研究”(202111319003)、江西省教育厅科学技术研究青年项目“柠檬樟优良单株选择及其扦插后代叶精油代谢研究”(GJJ180955)。

鉴于编者的水平有限,本书中难免有不当之处,敬请广大读者提出宝贵意见,以便修改完善。

目录

第 1 章　绪论　\1

1.1　选题背景　\1

1.2　国内外研究概况　\2

1.2.1　天然柠檬醛产业现状及问题　\2

1.2.2　樟组树种资源的传统开发利用　\6

1.2.3　樟组树种资源的香料开发利用历史　\8

1.2.4　香料樟树研究的意义、现状　\9

1.2.5　樟组树种良种选育　\23

1.2.6　樟组树种精油及其化学型分类　\25

1.2.7　樟组树种叶精油特征　\30

1.2.8　叶片转录组分析　\33

1.2.9　油细胞及其特征　\35

1.2.10　樟树光合特性研究进展　\36

1.2.11　叶内生菌研究进展　\38

1.3　研究内容　\40

1.3.1　柠檬醛型樟组树种优良单株选择　\40

1.3.2　柠檬醛型樟组树种后代叶精油化学型分化　\40

1.3.3　柠檬醛型樟组树种扦插后代叶精油特征　\40

1.3.4　柠檬醛型樟组树种扦插后代叶油细胞/粘液细胞特征　\40

1.3.5　柠檬醛型樟组树种扦插后代叶精油转录组分析　\41

1.3.6　柠檬醛型香樟叶光合特性分析　\41

1.3.7　柠檬醛型香樟叶在不同发育阶段的内生菌多样性变化　\41

1.3.8 柠檬醛型香樟叶片形态、光合生理、叶内生菌与精油的相关性 \41

第 2 章 柠檬醛型樟组树种优良单株选择 \42

2.1 材料与方法 \42

2.1.1 材料来源 \42

2.1.2 研究方法 \42

2.1.3 数据分析 \44

2.2 结果与分析 \44

2.2.1 叶精油得率和主要化学成分相对含量比较分析 \44

2.2.2 柠檬醛型樟组树种初选优株的确定 \48

2.2.3 柠檬醛型樟组树种优良单株的选择 \50

2.2.4 优良单株分布情况 \52

2.3 讨论 \53

2.4 小结 \54

第 3 章 柠檬醛型樟组树种后代化学型分化特征 \55

3.1 材料与方法 \55

3.1.1 材料来源 \55

3.1.2 研究方法 \56

3.1.3 数据分析 \56

3.2 结果与分析 \57

3.2.1 有性繁殖后代叶精油得率 \57

3.2.2 有性繁殖后代叶精油主要化学成分及化学型 \58

3.2.3 扦插繁殖后代叶精油得率 \64

3.2.4 扦插繁殖后代叶精油主要化学成分 \65

3.3 讨论 \66

3.4 小结 \69

第 4 章 柠檬醛型樟组树种扦插后代精油时空动态特征 \70

4.1 材料与方法 \70

4.1.1 材料来源 \70

4.1.2 研究方法 \71
4.1.3 数据分析 \71
4.2 结果与分析 \71
4.2.1 扦插后代叶精油代谢年动态 \71
4.2.2 扦插后代叶发育过程中精油代谢动态 \74
4.2.3 扦插后代精油代谢空间分布特征 \77
4.3 讨论 \87
4.4 小结 \90

第5章 柠檬醛型樟组树种扦插后代油细胞特征 \91
5.1 材料与方法 \91
5.1.1 材料来源 \91
5.1.2 研究方法 \92
5.2 结果与分析 \94
5.2.1 扦插后代油细胞年动态特征 \94
5.2.2 扦插后代叶发育过程中油细胞特征 \97
5.2.3 扦插后代不同部位油细胞的分布 \101
5.2.4 不同化学型香樟叶片油细胞分布比较 \103
5.2.5 油细胞的发生发育与其超显微结构 \109
5.3 讨论 \115
5.4 小结 \118

第6章 基于叶片转录组的柠檬醛型樟组树种叶精油代谢差异 \119
6.1 材料与方法 \119
6.1.1 材料来源 \119
6.1.2 研究方法 \120
6.2 结果与分析 \121
6.2.1 不同含油量樟树叶片精油的化学成分分析 \121
6.2.2 樟树转录组的 de novo 组装 \121
6.2.3 unigenes 的功能注释 \122
6.2.4 差异表达基因的筛选 \124
6.2.5 樟树萜类骨架和萜类生物合成相关差异基因 \124

6.3 讨论 \125
6.4 小结 \127

第 7 章 柠檬醛型香樟叶光合色素分析 \129
7.1 材料与方法 \129
7.1.1 试验地概况 \129
7.1.2 材料来源 \129
7.1.3 研究方法 \129
7.2 结果与分析 \130
7.2.1 2 种香樟叶光合色素年动态变化 \130
7.2.2 种化学型香樟光合色素差异分析 \131
7.2.3 2 种化学型香樟光合作用分析 \132
7.3 讨论 \134
7.4 小结 \135

第 8 章 柠檬醛型香樟叶片在不同时期的内生菌多样性评价 \136
8.1 材料与方法 \136
8.1.1 材料来源 \136
8.1.2 研究方法 \136
8.1.3 数据处理 \137
8.2 结果与分析 \137
8.2.1 IIIumlna 测序的质量指标 \137
8.2.2 叶内生真菌分析 \139
8.2.3 叶内生细菌分析 \146
8.3 讨论 \154
8.4 小结 \155

第 9 章 柠檬醛型香樟叶片形态、光合生理、叶内生菌与精油的相关性 \156
9.1 材料与方法 \156
9.1.1 材料来源 \156
9.1.2 研究方法 \156

9.1.3 数据处理 \157
9.2 结果与分析 \157
9.2.1 香樟叶片形态指标与精油得率和主成分相对含量的相关性分析 \157
9.2.2 香樟叶光合特性与精油得率和主成分相对含量的相关性分析 \158
9.2.3 香樟叶内生菌群落变化和精油得率以及化学型的相关性 \159
9.3 讨论 \160
9.4 小结 \162

第 10 章 结论与展望 \163
10.1 结论 \163
10.2 展望 \164
参考文献 \166

附 录 \186

第 1 章　绪论

1.1　选题背景

天然柠檬醛是 1 种非常重要的植物精油成分，呈浓郁的柠檬香味，以柠檬醛为原料可合成多种半合成香料及其衍生物，如紫罗兰酮、突厥酮、维生素 A、维生素 E、维生素 K、胡萝卜素等，广泛应用于医药化工、食品、日化用品等多个领域（Thielmann M，2019；向育君，2020），因此柠檬醛经济价值高，市场需求量大。我国 2017 年国内市场销售规模达 0.82 万吨，但仍然满足不了市场需求，当年市场需求量达 3.09 万吨，市场满足率仅有 26.54%，2013 年至 2018 年第 1 季度，我国柠檬醛的供应量和需求量均逐年增加，但供需比始终维持在 40%左右，未有大幅度提升。2018 年全球柠檬醛行业市场规模达到 300 亿元，预计 2025 年将达到 1000 亿元规模（北京中研纵横经济信息中心，2018）。目前我国天然柠檬醛供应主要来源于山鸡椒（*Litsea cubeba*（Lour.）Persl.），但山鸡椒的规模化开发利用仍存在许多制约因素（王旭等，2010），天然柠檬醛供不应求的局势尚未改善，因此人们不断尝试探索新的天然柠檬醛。据报道，精油中富含柠檬醛的植物（相对含量在 50%以上）有 10 余种（和承尧，2018），其中富含柠檬醛的樟组树种（Sect. *Camphora*（Trew）Meissn.）占已发现的富含柠檬醛主要植物种类的近一半比例。此外，樟组树种叶片含有丰富的精油，叶片不仅精油得率高，生物量大，主要成分含量也高（孟小雄，1988），采集叶片对植株破坏力小，所以樟组树种叶精油的研究利用为发掘新天然柠檬醛来源提供契机。

樟组树种隶属于樟科（Lauraceae）樟属（*Cinnamomum*），主要分布于亚洲的热带、亚热带地区，特别是香樟（*Cinnamomum camphora* [L.] Pers.）主要分布在中国、印度（Ramamoorthy A *et al*，2018）、老挝、越南（Do N D *et al*，2020）和日本（Shim H Y *et al*，2019），在澳大利亚有引种栽培，在巴西、古巴（Jorge A P *et al*，2004）等国均有零星分布。根、茎、枝、叶、果中均富含精油（彭镇华，2003），被誉为庞大的“化学化工宝库”，精油中含有的化学成分十分多样。由于樟组树种多存在种内分化的现象，仅仅依据外部形态进行植物

分类已不能满足研究和生产需求。因此人们依据叶精油的主要化学成分将其划分为不同的化学型(欧阳少林等,2011;Zhang T *et al*,2019)。例如叶精油中主要化学成分是芳樟醇,则将其归类为芳樟醇型;若主要化学成分是樟脑,则归类为脑樟型(中国科学院中国植物志编辑委员会,1982);若主要化学成分是柠檬醛,则归类为柠檬醛型。目前关于柠檬醛型樟组树种的报道多集中于资源发现、成分分析等方面。自然界中柠檬醛型樟组树种分布极少,而且叶精油得率以及精油中主要化学成分柠檬醛的相对含量差异极大,因此柠檬醛型樟组树种资源开发利用的首要任务是开展优良单株选择。此外,在实际生产中,樟组树种枝叶收割多为 1 年 1 次至 2 次,经相关学者研究表明(张国防,2006;胡文杰,2013;段博莉,2006),不同化学型樟组树种的叶精油特征存在差异,因此柠檬醛型樟组树种精油特征亟待明确。

基于上述原因,以柠檬醛型樟组树种为研究对象,从柠檬醛型樟组树种优良单株筛选着手,探索柠檬醛型樟组树种叶精油及主要化学成分柠檬醛的特征;明确柠檬醛型樟组树种规模化生产的最佳繁殖方式、最宜采收时间;探明精油及主要化学成分柠檬醛在叶片发育过程、不同部位的代谢特征等;了解油细胞的动态变化、分布、发育形成;从油细胞、转录组、微生物等方面初步探索柠檬醛型樟组树种叶精油合成机理,为天然柠檬醛资源的进一步开发利用及柠檬醛精油代谢机制深入研究提供可参考的理论依据。

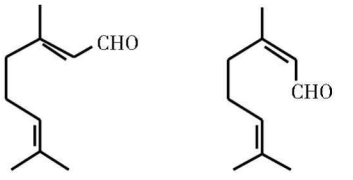
1.2 国内外研究概况

1.2.1 天然柠檬醛产业现状及问题

1.2.1.1 天然柠檬醛

柠檬醛,中文名也称 2,6-二甲基-2,6-辛二烯醛、3,7-二甲基-2,6-辛二烯-1-醛、3,7-二甲基-2,6-辛二烯醛、牦牛儿醛、香叶醛、橙花醛,英文名称 Citral,分子式为 $C_{10}H_{16}O$(黄致喜等,1999)。属于单萜类化合物,无旋光性,但存在 2 个顺反异构体,即香叶醛和橙花醛(蓝公毅等,2020)(结构式如图 1.1),通常天然柠檬醛是 2 种顺反异构体的混合物,为透明状、易挥发液体,呈无色或淡黄色,与空气接触后容易氧化呈现黄色。天然柠檬醛具有浓郁的柠檬香味,是 1 种非常重要的植物精油成分,存在于多种植物精油中,如柠檬草精油、木姜子精油、山鸡椒果精油、枫茅精油、马鞭草精油、柑橘精油、白柠檬精油、生姜精油、樟组树种叶精油等(北京中研纵横经济信息中心,2018)。以柠檬醛为原料可以合成紫罗兰酮、二氢突厥酮、异胡薄荷醇等重要化学成分,广泛地应用于医疗、香料、日化用品等领域,主要应用于香料领域及紫罗兰酮领域,如 2017 年我国柠檬醛

用于调香剂领域占比 39.33%,用于紫罗兰酮领域占比 29.33%,用于维生素 A 领域等占比 15.23%,用于其他领域 16.11%[3]。因此,天然柠檬醛应用领域广,市场前景良好。



香叶醛　　橙花醛

图 1.1　柠檬醛的 2 个顺反异构体

Figure 1.1　Two cis trans isomers of citral

1.2.1.2　天然柠檬醛产业化现状及问题

柠檬醛市场需求量大且市场需求量逐年增加,预测未来 3 年我国柠檬醛需求量还会持续增加(见表 1.1),预测 2024 年我国柠檬醛需求量可达 8.64 万吨,增长率达 14.9%;随着柠檬醛市场需求量的持续增加,柠檬醛行业市场规模也呈现持续增长趋势,2013~2018 年我国柠檬醛市场规模逐年增长,增长率保持在 19%左右,预测全球柠檬醛规模行业市场规模可达 820.03 亿元(北京中研纵横经济信息中心,2018)。因此,天然柠檬醛市场需求量大、经济价值高。

表 1.1　未来 3 年我国柠檬醛需求量预测

Table 1.1　Forecast of citral demand in China in the next three years

年份 Years	未来 3 年我国柠檬醛需求量预测(万吨) Forecast of citral demand in China in the next three years(ten thousand ton)	增长率 Growth rate(%)
2022	6.55	15.5
2023	7.52	14.8
2024	8.64	14.9

随着柠檬醛市场需求量的逐年增加,我国柠檬醛市场供应量也随之增长(见表 1.2),2013 年我国柠檬醛供应量为 0.67 万吨,至 2018 年达 1.27 万吨,但供需比例 2013~2018 年第 1 季度保持在 40%左右,较 2013 年甚至有所下降,供需比例未呈现大幅度增长。

表 1.2　我国柠檬醛行业的供应量占需求量百分比

Table 1.2　Percentage of citral supply to demand in China

年份 Years	2013~2018 年(1 季度)我国柠檬醛供应量(万吨)Supply of citral in China from 2013 to 2018 (Q1) (ten thousand ton)	2013~2018 年(1 季度)我国柠檬醛需求量(万吨)Demand of citral in China from 2013 to 2018 (Q1) (ten thousand ton)	供应量占需求量百分比 Percentage of supply to demand (%)
2013	0.67	1.58	42.41
2014	0.74	1.86	39.78
2015	0.93	2.23	41.70
2016	1.10	2.63	41.83
2017	1.27	3.09	41.10
2018 年 1 季度 2018(Q1)	0.37	0.92	40.22

柠檬醛供需比例多年未得到提升,究其主要原因之一,是我国天然柠檬醛主要从山鸡椒果实油中获得,而山鸡椒的规模化生产中存在许多制约因素(赵婷等,2010;陈学恒,2003)。山鸡椒,又名山苍子,属于樟科木姜子属(*Litsea*),其果皮富含柠檬醛。山鸡椒实际生产中的制约因素体现在以下几个方面:第一,山鸡椒在我国分布较为广泛且较分散,多生长在山区灌木丛或疏林地,目前生产中山鸡椒多为野生,人工栽培较少(王旭等,2010),良种极少,因此生产中山鸡椒果实精油得率及主要化学成分柠檬醛相对含量参差不齐;第二,由于山鸡椒为采摘果实提油,因此座果率、结实大小年等都直接影响到果实生物量,而柠檬醛亩产量是由精油得率、柠檬醛相对含量及果实生物量决定的,因此山鸡椒的柠檬醛亩产量得不到连年丰收保障;第三,山鸡椒为采果取油,野生山鸡椒分布分散不成片、分布在山区导致采摘难度大,许多果实甚至无人采摘,采摘人工成本高,采摘时多采用敲打枝条或者剪下枝条收集果实,影响第 2 年结实数;第四,山鸡椒为雌雄异株,实际生产中除了筛选优良雌株、雄株,还要进行雌雄配比,雌雄株之间的栽植方案筛选,进一步增加了栽培技术及规模化管理难度;第五,山区交通不便利,多数果实由人工运输下山,运输不及时的新鲜果实容易发霉、变质。基于以上几方面因素,我国天然柠檬醛产业化连续多年供需比例未得到提升,市场需求量持续增长,但连年得不到满足,研究热点逐渐聚焦于人工合成柠檬醛,随着柠檬醛人工合成技术的逐渐成熟,其市场供应量日益增大且价格低廉,极大地缓解了供需压力。但随着精深加工的深入,人们发现人工合成柠檬醛与天然柠檬醛功效不完全相同,这可能是由于天然植物精油是植物次生代谢产

物,精油中存在多种含量微少的化学成分,它们起到了不可忽视的作用;而次生代谢过程中产生的各化学成分间存在密切的关系,研究表明,精油中的多个化学成分协同作用是促进精油整体抗菌活性的潜在因素(Zhou F *et al*,2007;Pina-Vaz C *et al*,2004;Walsh S E,2003),这种协同作用取决于精油成分、成分比例等(Cox S D *et al*,2001),人工合成的精油成分单一,精油中的多种微量化学成分不能合成而影响了整体的精油特性。因此,人们尝试探索天然柠檬醛的新来源。

1.2.1.3 天然柠檬醛新途径

目前,已发现精油中富含柠檬醛的植物(相对含量在50%以上)有10余种(和承尧,2008)(见表1.3),包括三大类别,即木本果类、木本叶类及草本叶类,其中:木本果(种子)类主要有4种,主要为山鸡椒、清香木姜子(*L. euosma* W. W. Smith)、毛叶木姜子(*L. mollis* Hemsl.)、木姜子(*L. pungens* Hemsl.);木本叶类主要有10种,主要为香樟、黄樟(*C. porrectum* (Roxb.) Kosterm.)、猴樟(*C. bodinieri* Lévl)、云南樟(*C. glanduliferum* (Wall.) Nees)、湖北樟(*C. bodinieri* Levl var. hupehanum (Gamble) G. F. Tao)等,草本叶类主要有3种,分别为柠檬草((*Cymbopogon citratus* [DC.] Stapf))、野香茅(*C. tortilis* (Presl) A. Camus)、吉龙草(*Elsholtzia communis* [Coll. et Hemsl.] Diels)。已发现的富含柠檬醛的樟组树种占富含柠檬醛主要植物种类的近一半比例。樟组树种的报道显示,樟组树种叶片含有丰富的精油,叶片生物量大,精油得率高,主要化学成分相对含量高(Do N D *et al*,2020;Shim H Y *et al*,2019),矮林栽培模式已较成熟,有利于机械化规模作业。与富含柠檬醛的木本果类植物相比,樟组树种采集叶片提取精油,不受座果率、结实大小年的影响,生物产量较为稳定;与富含柠檬醛的草本叶类植物相比,樟组树种的生物量大,而且目前我国广西等地樟组树种进行矮林栽培收割叶生物量,可采取1年收割1次或2年收割3次的经营模式,其生物产量远远高于草本类,所以柠檬醛型樟组树种叶精油的研究利用为发掘新的天然柠檬醛来源提供契机。

表1.3 精油中富含柠檬醛的植物

Table 1.3 Plants rich of citral in essential oils

类别 Category	木本果(种子)类 Woody fruits(seeds)	木本叶类 Woody leaves	草本叶类 Herbaceous leaves
所含数量(种) Number	4	10	3
所含数量(种) Number	4	10	3

续表

类别 Category	木本果(种子)类 Woody fruits(seeds)	木本叶类 Woody leaves	草本叶类 Herbaceous leaves
树种(植物)名称 Name of tree species (plants)	山鸡椒 *Litsea cubeba*、毛叶木姜子 *L. mollis*、清香木姜子 *L. euosma*、木姜子 *L. pungens*	香樟 *Cinnamomum camphora*、黄樟 *C. porrectum*、猴樟 *C. bodinieri*、云南樟 *C. glanduliferum*、湖北樟 *C. bodinieri*、细毛樟 *C. tenuipilum*、长柄樟 *C. longipetiolatum*、阴香 *C. burmannii*、少花桂 *C. pauciflorum*	柠檬草 *Cymbopogon citratus*、野香茅 *C. tortilis*、吉龙草 *Elsholtzia communis*

1.2.2 樟组树种资源的传统开发利用

樟组树种(Sect. *Camphora* (Trew) Meissn.)隶属于樟科(Lauraceae)樟属(*Cinnamomum*),与肉桂组(Sect. *Cinnamomum*)同属于樟属植物下的2个大组,樟组树种包含了多个树种(见表1.4),多为我国亚热带常绿阔叶林的主要建群种或优势种。樟组树种树形高大,多被用作园林绿化及材用,随着研究的深入,人们发现樟组树种叶精油普遍具有多样性,即叶片富含精油,叶精油中含有种类丰富的化学成分,如常见的有芳樟醇、异橙花叔醇、1,8-桉叶油素、樟脑、龙脑等。这些化学成分具有非常高的开发利用价值。因此,近年来樟组树种作为经济用途的开发更受人们关注。

樟组树种主要分布于亚洲的热带、亚热带地区,如中国、日本、老挝、越南、印度、古巴等地均有分布(张峰等,2017)。我国樟组树种资源丰富,所含树种多,分布范围广。目前我国樟组树种约有20余种(含变种),在我国主要分布于长江以南各地区,北起陕西及甘肃南部,南至云南西双版纳和海南尖峰岭,东达中国台湾及其附近岛屿,西及甘肃南部(张国防,2006);覆盖我国江西、福建、广东、广西、湖南、湖北、四川、重庆、云南、贵州、海南、台湾、浙江等地区(中国科学院中国植物志编辑委员会,1982;黎祖尧等,2015)。我国樟组树种主要分布情况见表1.4(张国防,2006;Fang J Y *et al*,2011)。

表1.4 我国樟组树种分布情况

Table 1.4 Distribution of Sect. *Camphora* in China

树种名 Species	分布情况 Distribution
猴樟 *Cinnamomum bodinieri* Lévl	云南 Yunnan、四川 Sichuan、贵州 Guizhou、湖南 Hunan、湖北 Hubei、江西 Jiangxi、重庆 Chongqing、广西 Guangxi、广东 Guangdong
湖北樟 *C. bodinieri* Lévl var. hupehanum (Gamble) G. F. Tao	湖北 Hubei、四川 Sichuan、湖南 Hunan

续表

树种名 Species	分布情况 Distribution
短序樟 *C. brachythyrsum* J. Li	云南 Yunnan
髯毛樟 *C. baroatoaxillatum* N. Chao	四川 Sichuan
香樟 *C. camphora*（L.）Presl	我国南方各地（除陕南、甘南）South China（except Shannan and Gannan）
芳樟 *C. camphora var. linaloolifera* Fujita	台湾 Taiwan、江西 Jiangxi、福建 Fujian、云南 Yunnan、湖北 Hubei
尾叶樟 *C. caudiferum* Kosterm	云南 Yunnan、贵州 Guizhou
坚叶樟 *C. chartophyllum* H. W. Li	云南 Yunnan
城口樟 *C. chengkouense*	四川 Sichuan、重庆 Chongqing
云南樟 *C. glanduliferum*（Wall.）Nees	云南 Yunnan、贵州 Guizhou、四川 Sichuan、西藏 Xizang、广西 Guangxi、广东 Guangdong、江西 Jiangxi、湖北 Hubei、湖南 Hunan、重庆 Chongqing
八角樟 *C. ilicioides* A. Chev.	海南 Hainan、广东 Guangdong、广西 Guangxi、云南 Yunnan
油樟 *C. longepaniculatum*（Gamble）N. Chao	四川 Sichuan、湖南 Hunan、云南 Yunnan、江西 Jiangxi、广东 Guangdong、广西 Guangxi
长柄樟 *C. longipetiolatum* H. W. Li	云南 Yunnan
沉水樟 *C. micrathum*（Hayata）Hayata	广西 Guangxi、广东 Guangdong、海南 Hainan、台湾 Taiwan、福建 Fujian、江西 Jiangxi、湖南 Hunan、贵州 Guizhou、浙江 Zhejiang
米槁 *C. migao* H. W. Li	云南 Yunnan、广西 Guangxi、贵州 Guizhou
毛叶樟 *C. mollifolium* H. W. Li	云南 Yunnan
黄樟 *C. porrectum*（Roxb.）Kosterm.	云南 Yunnan、贵州 Guizhou、湖南 Hunan、广东 Guangdong、广西 Guangxi、福建 Fujian、江西 Jiangxi、海南 Hunan、湖北 Hubei
阔叶樟 *C. platyphllum*（Diels）Allen	四川 Sichuan、湖北 Hubei、重庆 Chongqing、甘肃 Gansu、陕西 Shaanxi
菲律宾樟 *C. philippinense*（Meer.）C. E.	台湾 Taiwan
细毛樟 *C. tenuipilum* Kosterm.	云南 Yunnan
岩樟 *C. saxatile* H. W. Li	云南 Yunnan、广西 Guangxi
银木 *C. septentrionale* Hand. Mazz.	四川 Sichuan、重庆 Chongqing、湖北 Hubei、陕西 Shaanxi、甘肃 Gansu

樟组树种树冠为广卵形，树形高大、树干通直优美、枝叶繁茂。其叶片可有效吸附空气中的颗粒物，对 $PM_{2.5}$ 及 PM_{10} 等有一定的阻滞作用，起到了净化城市空气的作用（苏