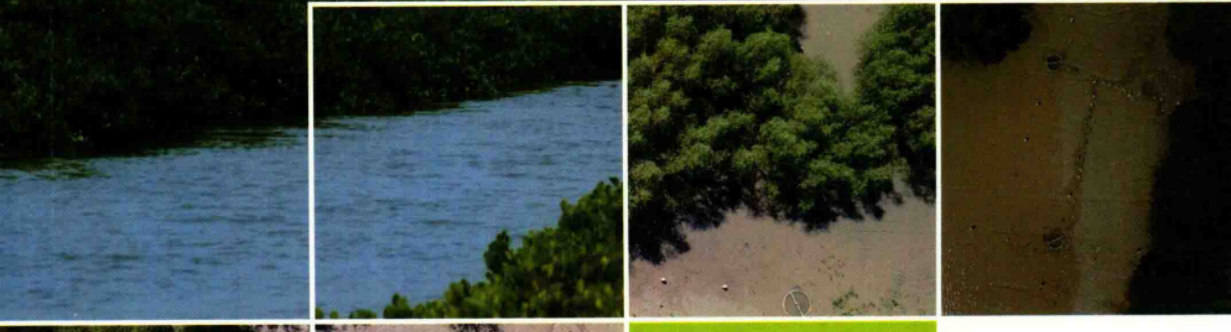
雷州半岛红树林生态修复与资源利用研究

韩维栋　编著









華南理工大學出版社
SOUTH CHINA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS

图书在版编目（CIP）数据

雷州半岛红树林生态修复与资源利用研究/韩维栋编著．—广州：华南理工大学出版社，2020.5

ISBN 978-7-5623-6281-4

Ⅰ.①雷… Ⅱ.①韩… Ⅲ.①雷州半岛-红树林-森林生态系统-研究 Ⅳ.①S796

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2020）第 040262 号

Leizhou Bandao Hongshulin Shengtai Xiufu Yu Ziyuan Liyong Yanjiu

雷州半岛红树林生态修复与资源利用研究

韩维栋　编著

出 版 人：卢家明

出版发行：华南理工大学出版社

（广州五山华南理工大学 17 号楼，邮编 510640）

http://www.scutpress.com.cn　　E-mail：scutc13@scut.edu.cn

营销部电话：020-87113487　87111048（传真）

策划编辑：吴兆强

责任编辑：吴兆强

印 刷 者：虎彩印艺股份有限公司

开　　本：787mm×1092mm　1/16　**印张**：19　**字数**：483 千

版　　次：2020 年 5 月第 1 版　2020 年 5 月第 1 次印刷

定　　价：60.00 元

版权所有　盗版必究　　印装差错　负责调换

前　言

全球红树林在20世纪末的最后30年间，逐步为各国学者与政府所重视，被列为最为独特的森林类型、湿地类型与典型的海洋生态系统，是地球上唯一的森林、湿地和海洋三大生态系统相互交叉的生态系统。红树林生态系统表现出高生产率、高回归率和高降解率的“三高”特性，同时其复杂多样的树木根系空间与潮汐湿地，为保护海洋生物多样性、美化海岸景观和优化环境质量等提供了极其宝贵的生态功能服务，是人类极其珍贵的生态资源。

雷州半岛沿海滩涂是我国红树林分布面积最大和台风最多的区域，也是国际候鸟迁徙路线上停歇越冬的主要站点。因此，其红树林研究在沿海减灾防灾、生物多样性和污染物生态修复等方面具有极其重要的意义。本人参与申报引进的“中国—荷兰雷州半岛红树林综合管理与沿海保护项目”于2006年成功完成并付诸实施，极大地推动了雷州半岛红树林的保护工作，该项目已成为全球国际湿地保护工作的典范。但是，雷州半岛红树林生态修复与资源利用研究和管理工作仍然任重道远，如红树林保护区分散为众多保护小区，多处于“先将地圈起来”的阶段，地埋管网生态保育等先进的技术难以推广应用，科学的保护与管理有待加强。

雷州半岛红树林研究着重解决现有红树林的生物多样性调查、生态功能评估、生态系统经营、红树树种各种果实的加工利用、沿海滩涂与堤岸红树林营造等技术、生态养殖及其生态保育双赢等问题，为红树林生态系统恢复及其资源的可持续利用管理提供技术支撑。同时，期待红树林海岸社区和红树林保护区管理人员能积极参与科研院所红树林科研项目及其成果在红树林非核心区的可持续应用研究，在提高红树林生态系统生态效益的同时，增加社会效益与经济效益。

本书收集作者关于雷州半岛红树林研究所发表的论文，同时收录了相关专题资料等。在此，谨向所收录论文的作者，尤其是其中的论文作者以及参与本人主持项目工作而支持这些论文发表及参与本书编辑与资料整理工作的周元满、黄剑坚、王章芬、杨浩、丘建煌、杨通文、陈杰、胡安琪、肖钰、

陈睿等老师与学生表示衷心的感谢！

本书的出版得到广东海洋大学中央财政支持地方高校项目“红树林生态系统人才培养和创新团队建设”等红树林研究团队项目、国家自然科学基金项目“雷州半岛木本植物区系变迁及其驱动力研究”（31170511）的资助。

本书可为红树林研究与教学相关专业师生及沿海资源管理工作者提供参考。书中不足之处，敬请读者指正（859730249@qq.com）。

广东海洋大学
韩维栋教授
2020年1月6日

目 录

第 1 章 研究综述

银叶树研究进展* …… 2
红树植物的化学成分及其生物活性研究进展* …… 8
The mangrove and its conservation in Leizhou Peninsula, China* …… 21

第 2 章 红树植物生物学特性研究

盐胁迫处理对银叶树幼苗叶片光合及解剖特征影响* …… 32
5 种红树科植物叶片的比较解剖及其生态适应研究* …… 38
雷州半岛白骨壤自然种群遗传多样性的 ISSR 分析* …… 43
中国东南沿海 15 个秋茄种群遗传多样性的 SRAP 分析* …… 48
Proteomic analysis of salt-responsive proteins in the leaves of semi-mangroves *Heritiera littoralis* seedlings under experimental salt stresses* …… 56

第 3 章 红树植物种群生态学特性研究

不同潮带红海榄群落胎生繁殖体空间分布格局分析* …… 71
天然红海榄种群分布格局研究* …… 80
天然红海榄支柱根空间结构研究* …… 88
天然红海榄支柱根的空间连接与分形表征* …… 97
红海榄叶面积指数的空间结构性* …… 107
天然红海榄树冠结构的分形特征* …… 115
木榄胎生繁殖体产量预测模型* …… 122
雷州半岛木榄群落种子雨研究* …… 132
雷州半岛秋茄群落的种子雨动态研究* …… 140
无瓣海桑人工林树冠结构的分形分析* …… 146

第 4 章 红树林生态修复研究

红树林扩展林窗空间营养指数* …… 154
雷州半岛高桥红树林内带林窗特征分析*——以湛江市廉江高桥红树林保护小区为例 …… 164
雷州湾红树湿地景观格局演变及驱动力分析* …… 171
湛江高桥不同潮带红树林三维褶皱综合指数比较分析* …… 181
Restoration of mangrove plantations and colonisation by native species in Leizhou bay,

South China* …… 188
湛江湾红树林土壤理化性质的研究* …… 199
雷州半岛高桥红树林沉积物中砷的分布* …… 206
特呈岛红树林土壤总砷及多态砷含量测定* …… 213

第 5 章　红树植物利用研究

白骨壤果实水提物的急毒试验及致突变性评价* …… 219
白骨壤叶总黄酮的超声辅助提取及抗氧化活性研究* …… 223
响应面法优化白骨壤果实中黄酮类化合物的提取工艺* …… 232
红树植物木榄叶的基本化学成分分析* …… 241

第 6 章　红树林植物保护与保育研究

雷州半岛红树林湿地的生态价值评估* …… 247
南三岛黄槿的生态经济价值评估* …… 255
雷州市九龙山风景区植物区系与植被* …… 263
广东湛江受损树林生态系统保育示范基地简报…… 270
湛江红树林区地理管网系统中华乌塘鳢保育研究* …… 279

第 7 章　指导红树林研究硕士论文及中英文摘要

雷州半岛白骨壤遗传多样性的 ISSR 分析 …… 288
中国东南沿海秋茄（*Kandelia candel*）遗传多样性、光合特性和耐寒性研究 …… 290
广东银叶树种源幼苗生长差异及耐盐机理研究…… 293

第1章

研究综述

银叶树研究进展*

韩维栋，王秀丽
（广东海洋大学农学院，广东 湛江 524088）

摘　要：银叶树是梧桐科银叶树属乔木树种，在我国华南沿海防护林和城市园林中具有巨大的应用潜力。本文综述了银叶树的地理分布与形态特征、生物化学与遗传多样性、抗性生理、育苗造林技术及资源植物学等方面的研究进展，阐述了银叶树的引种栽培和耐盐性研究进展及其在我国华南滨海地区的生态经济发展前景。

关键词：银叶树；生物学特性；遗传多样性；抗性；育苗造林技术；利用前景

Review on research progress of *Heritiera littoralis*

Han Weidong, Wang Xiuli
(Agricultural College, Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524088, Guangdong)

Abstract: *Heritiera littoralis*, a tree species of the genus *Heritiera*, family Sterculiaceae, has great utilization potentiality in coastal shelter forests and urban garden in South China. This review summarized research pro-gress of *H. littoralis*, including geographical distribution, morphological characteristics, biochemistry, genetic di-ersity, resistance physiology, resource botany as well as the techniques of seedling nurture and afforestation. The introduction technique and salt-resistant research progress of *H. littoralis* were detailed for its utilization prospect on ecology and economy in coastal areas of South China.

Key words: *Heritiera littoralis*; biological characteristics; genetic diversity; resistance; seedling afforesta-tion technology; potential utilization

银叶树（*Heritiera littoralis*）是梧桐科（*Sterculiaceae*）银叶树属（*Heritiera*）半红树植物、乔木树种，其根呈板状，茎高而大，叶背银白色，果实形状奇特，具有耐盐及抗风特性，是一种很好的景观树种和海岸防护林树种。近年来研究表明，银叶树具有食用与药用开发价值。因此，从生物多样性、生态及经济效益等方面来看，开发利用银叶树具有广阔的前景，但目前国内外对银叶树的研究还不够全面系统。本综述从银叶树的地理分布、形态特征、遗传多样性、药用、抗性生理以及育苗与造林技术等方面总结了国内外的研究进展，为银叶树的进一步开发利用提供参考依据。

---

* 基金项目：国家自然科学基金“雷州半岛木本植物区系变迁及其驱动力研究”（31170511）。
原载于：广东林业科技，2013，29（6）：80－84。

1　地理分布与形态特征

银叶树的分布范围很广，在我国华南、台湾等地及世界的很多区域都有分布[1-5]。简曙光等[6-7]对广东省深圳市盐灶村银叶树种群的研究表明，银叶树分布区域狭窄，陆生亚种群年龄结构呈倒金字塔形。由于社会经济的飞速发展，人为因素干扰了银叶树种群的发展，再加上其自身的繁殖问题，导致其种群数量不断减少。

在形态特征方面，邱凤英等[8]对银叶树的花期进行观测研究，发现银叶树在 3—9 月期间开花 2 次。曾聪[9]和 Das 等[10]对银叶树的果实及种子的形态特性进行研究发现，银叶树果实为近椭圆形或扁圆形或近心形，果实顶部有鱼尾状的长翅；果皮木质化，外果皮坚硬，内果皮呈“海绵状”，与外果皮不易分离；果实内仅含 1 粒种子，种子尤胚乳，主要由 2 片子叶构成。

在解剖学方面，宁小清等[11]对银叶树的根、茎和叶进行显微鉴别，主要鉴别特征为：①根在皮层、韧皮部有众多纤维束；木质部宽广，约占横切面的 2/3；皮层、韧皮部、木质部多见大型草酸钙方晶；② 茎的皮层、韧皮部有众多纤维束，皮层与韧皮部间有异常维管束，髓部有多个分泌道，草酸钙方晶众多，簇晶可见；③叶片主脉维管束发达，有分泌道，方晶、簇晶多数；表皮有下皮层；有发达的维管束鞘延伸区；④粉末中可见晶鞘纤维、非腺毛、草酸钙方晶大型、多数，草酸钙簇晶可见，具缘纹孔导管易见。

2　生物化学与遗传多样性研究

2.1　生物化学

林益明等[12]对深圳福田红树林区 7 种红树植物叶热值的季节变化进行研究，结果表明，银叶树不同季节的灰分含量（质量分数，下同）为 4.50% ～ 5.61%，其变化趋势为夏季 > 冬季 > 春季 > 秋季。牟美蓉等[13]对真红树和半红树植物叶片氯含量及叶性状的比较表明，银叶树的比叶面积（SIA）较小，为 71.5 cm^2/g，单位面积叶氯含量却较高，为 2.36 g/m^2。

Tian 等[14]从银叶树的叶子中分离鉴定了 8 个黄酮类化合物，分别为栎皮苷（quercitrinl）、槲皮素（quer-cetin2）、山柰酚 3-O-（6d-O-E-p 香豆酰基）-B-D－吡喃葡萄糖（kaempfero-1 3-O-（6d-O-E-p-coumaroyl）-B-D-glu-co-pyranoside3、山柰酚（kaempferol4）、山柰苷（kaempfe ritrin5）、杨梅黄酮（myricetin6）、圣草酚（eriodictyol7）和儿茶素（catechin8）。张艳军等[15]研究了从银叶树树叶中提取黄酮所需的条件。田艳等[16]从银叶树的树皮里分离鉴定了 7 个三帖化合物。

2.2　遗传多样性研究

Das 等[10]通过脱氧核糖核酸含量的差异和 RAPD 标记对银叶树分子发展史进行了研究。简曙光等[17]采用 cpDNA 基因间隔区序列分析的方法对分布于中国、日本、越南、泰国、印度尼西亚和澳大利亚的 12 个地点的 17 个种群进行谱系地理学研究，结果表明，银

叶树种群间的遗传分化与种群间的地理隔离有关；单倍体型分布和系统发育方面的研究结果表明，银叶树有 2 个广布单倍型和 3 个特有单倍型，推断出银叶树可能的起源中心和次级起源中心的地理区域。

Jian 等[18]利用 ISSR 技术研究了来自华南地区的 6 个自然种群的红树植物银叶树的遗传多样性，结果表明银叶树在物种水平上有较高的遗传变异水平，这些遗传变异很大部分来自种群内部；银叶树的种群分化表现在基因水平上，由不同生境所带来的影响不显著。随后 Jian 等[19]又利用 2 种分子标记方法（即 ISSR 和 AFLP）分析了不同的生长环境和地理位置的银叶树分布结构及遗传多样性，发现地点内遗传分化的重要影响因素为高度分歧的环境因素。

3 抗性生理研究

3.1 耐盐特性

蒋巧兰等[20]对真红树和半红树植物体内盐分、元素分布及耐盐差异比较研究，结果表明，银叶树 Na 和 Cl 含量较低，幼枝多年生枝、叶片，树干材的 K、Na 和 Cl 的含量排序都为 K > Cl > Na，而树皮中的含量排序为 Cl > K > Na；银叶树各级根系 Cl 含量较低，随着根系直径的增加，Cl 含量有下降的趋势；银叶树不同直径根系 Na 含量较低，说明其根系的拒 Na 能力较强[21]。

邱凤英[22]对银叶树的耐盐性进行研究，结果表明，在 5,8,11,14,17,20,23(g/kg)这 7 个盐度处理下，随着盐度的增大，其幼苗的苗高月平均增量呈现下降的趋势，银叶树具有一定的耐盐性；其抗逆性生理指标（如丙二醛含量、质膜透性等）都会随着盐度的增大呈现出上升的趋势；主成分分析结果表明，银叶树在盐度为 5 g/kg 处理下适应度为 0，幼苗呈适应性生长，在盐度为 8.11 g/kg 处理下生长受环境的影响程度不大，在盐度≥14 g/kg处理下呈不适应性生长，受环境的影响很明显。卞阿娜[23]在对华南滨海区耐盐园林绿化植物选择与配置的研究中发现，银叶树属于高度耐盐植物。

3.2 耐水淹特性

邱凤英[22]对银叶树植物苗木进行正常浇水、水淹至地茎、水淹至枝下高和完全水淹 4 种深度水淹处理，结果表明，银叶树根系在水淹条件下不能生长，其幼苗茎生长情况与水淹深度有关。栾建国等[24]对深圳地区银叶树淡水种植试验的结果表明，银叶树适于生长在较干旱的涨落区上部，但耐水性差，遇到长时间水淹便会死亡。

3.3 耐寒特性

杨盛昌等[25]因在 5℃夜间低温下对红树幼苗光合速率和蒸腾速率进行研究，发现银叶树的蒸腾速率、净光合速率、水分利用率和气孔导度都会因夜间低温而降低，而胞间 CO_2 浓度却增加，但叶绿素含量变化不明显，表明银叶树幼苗在低温条件下有一定的适应能力。

3.4　抗菌特性

陶文琴等[26]对 4 种红树植物提取物的体外抗菌活性进行研究，结果表明，从对金黄色葡萄球菌、表皮葡萄球菌、枯草芽孢杆菌、铜绿假单胞菌、大肠埃希氏菌及副伤寒沙门氏菌这 6 种受试菌的抑菌谱来看，体外抗菌活性能力大小排序为银叶树 > 黄槿（*Hibiscus tiliaceus*）> 海桑（*Sonneratia caseolaris*）> 无瓣海桑（*S. apetala*）；银叶树的叶提取物比茎提取物的抑菌谱更广。

4　育苗造林技术

银叶树主要是通过种子进行繁殖，其种子的萌发类型属于留土萌发，一般情况下是腹部朝下，先长胚根，再长胚芽[1-12]。刘秀[27]采用不同的储藏方法研究银叶树种子的发芽率，结果表明，采用常温沙藏的方法进行种子贮藏最有利于种子的发芽；采取脱壳处理 + 淡水浇灌 + 全日照方式育苗，最有利于种子的发芽；发芽时间短且发芽率很高。刘秀等[28]研究了不同储藏方法对银叶树和海杧果（*Cerbera manghas*）的种子发芽的影响，结果表明，常温沙藏条件下，银叶树种子和海杧果种子发芽整齐，表现最好，发芽率都最高。此外，高秀梅等[29]对银叶树进行育苗试验，结果表明，成熟果实（自然凋落在母树下的风干果）利于育苗，而直接从母树上采集的鲜果，其成苗率显著降低；在育苗过程中，要获得整齐苗与壮苗，必须对种子进行一定的处理，如切除部分果皮、自来水浸泡一定时间等。韩静[30]对几种半红树植物的育苗技术进行研究，结果表明，银叶树在黄心土基质中生长很差，在混合基质（如黄心土 + 沙 + 基肥、黄心土 + 沙 + 火烧土）中生长较好。邱凤英等[31]对几种半红树植物移栽技术的研究表明，在对 3 年生的银叶树进行移栽前，对其枝叶进行适当的修剪等处理，移栽后其成活率可达 95%。陈彧等[32]在 4 种不同立地下进行银叶树造林试验，结果表明，银叶树不适合盐碱地和滨海沙地人工造林。

5　资源利用

银叶树的树皮、根和叶等都有较高的药用价值，可用于治疗腹泻和牙痛等[8,33]，其叶子中的酮类化合物可以用于抗癌[14]，在现代医学里的应用前景广阔；此外银叶树的种子既可食用，又可以榨油[34]，在食品开发方面有很好的前景。

银叶树属于长寿命树种，树龄可达 500 年以上，且具有耐盐、抗风等特性，是营建海岸防护林的优良树种[35]。银叶树还是良好的景观树种，其观赏特性主要体现在银白色的叶背、奇特的果实形状，以及高度发达的板状根[36]。此外，银叶树在红树林生态教育与生态旅游等方面的贡献也很大。

6　结论

随着城市化进程的加快，华南滨海地区盐渍化土壤面积不断增加，植被覆盖率降低，而且园林绿化质量一般。但华南滨海区域的园林绿化植物资源很丰富，许多优良的耐盐园

林绿化植物未能得到充分的利用，因此筛选耐盐园林绿化植物的工作显得非常重要。华南沿海地区受热带风暴影响大，台风及海浪对地貌的侵蚀作用大，是重点防护林树种发挥防护作用的区域。目前沿海地区主要的防护林树种为外来树种木麻黄（*Casuarina equisetifolia*）。木麻黄适宜海岸沙地，生长快，耐瘠薄土壤，但根系浅，不耐海水浸泡，茎干和枝条树皮纤维不发达易折断，叶极度退化，树冠减弱风能效应差。而银叶树是半红树植物，有板根，根系深，耐海水浸泡，茎干和枝条树皮纤维发达不易折断，中型叶，植株叶量大，树冠枝叶浓密，树冠减弱风能效应高，适宜种植在华南沿海潮间带高潮线附近，可作为华南沿海地区防护林建设的重要树种。因此，选育优良的银叶树种源以满足华南地区防护林建设的需求，具有重大生态意义。

银叶树具有独特的观赏特性，其树形美观，叶背银白色，枝叶四季浓密，果实奇特，是华南滨海地区美化环境的优良树种。因此，建议在华南滨海地区高潮带区域中种植银叶树等优良乡土半红树树种，既可减缓华南沿海地区台风的侵袭，又能美化、绿化环境，从而实现人与自然和谐共处的美好愿望。

参考文献

[1] Das P, Basak U C, Das A B. Metabolic changes during rooting in pre-girdled stem cuttings and air-layers of Heri-tiera [J]. Bo-tanical Bulletin of Academia Sinican, 1997, 38: 91 - 95.

[2] 王伯荪，余世孝，胡玉佳．深圳宝安盐灶的银叶树林//黄玉山，谭凤仪．广东红树林研究［M］．广州：华南理工大学出版社，1995：33 - 35.

[3] 冯国楣．中国植物志［M］．北京：科学出版社，1996：140 - 143.

[4] Tomlinson P B. The botany of mangroves [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1986: 374 - 381.

[5] 杨盛昌，林鹏，中须贺常雄．日本红树林的生态学研究［J］．厦门大学学报：自然科学版，1997，36（3）：471 - 477.

[6] 简曙光，韦强，唐恬，等．深圳盐灶银叶树种群的生物学特性研究［J］．华南农业大学学报：自然科学版，2005，26（4）：84 - 87，91.

[7] 简曙光，唐恬，张志红，等．中国银叶树种群及其受威胁原因［J］．中山大学学报：自然科学版，2004，43（增刊）：91 - 96.

[8] 邱凤英．几种半红树植物生物学特性、耐盐、耐水淹及造林试验研究［D］．长沙：中南林业科技大学，2009.

[9] 曾聪．红树植物银叶树的繁殖生态研究［D］．南宁：广西大学，2006.

[10] Das A B, Mukherjee A K, Das P. Molecular phylogeny of Heritiera Aiton (sterculiaceae), a tree mangrove: variations in RAPD markers and nuclear DNA content [J]. Botanical Journal of the Lannea Society, 2001, 136 (2): 221 - 229.

[11] 宁小清，谢丽莎，侯小涛，等．红树药用植物银叶树的生药学研究［J］．中国海洋药物杂志，2008，27（3）：44 - 45.

[12] 林益明，柯莉娜，王湛昌，等．深圳福田红树林区 7 种红树植物叶热值的季节变化［J］．海洋学报，2002，24（3）：112 - 118

[13] 牟美蓉，蒋巧兰，王文卿．真红树和半红树植物叶片氯含量及叶性状的比较［J］．植物生态学报，2007，31（3）：497 - 504.

[14] Tian Y, Wu J, Zhang S. Flavonoids from leaves of *Heritiera littoralis* [J]. Journal of Chinese Pharmaceutical Sciences, 2004, 13 (3): 214 - 216.

[15] 张艳军，彭重威，徐淑庆，等. 银叶树树叶中总黄酮提取工艺优化 [J]. 中药材，2012，35 (4)：638 - 641.

[16] 田艳，吴军，漆淑华，等. 银叶树的三萜成分研究 [J]. 中草药，2006，37 (1)：35 - 36.

[17] 简曙光，张伟伟. 基于 cpDNA 基因间隔区序列的银叶树谱系地理学研究 [C]. 中国第五届红树林学术会议论文摘要集. 温州：中国生态学学会红树林学组执委会，2011.

[18] Jian S G, Shi S, Zhong Y, el al. Genetic diversity among South China *Heritiera littoralis* detected by inter-simple sequence repeats (ISSR) analysis [J]. Journal of Genetics and Molecular Biology, 2002, 13 (4): 272 - 276.

[19] Jian S G, Tang T, Zhong Y, et al. Variation in inter-simple sequence repeat (ISSR) in mangrove and non-mangrove population of *Heritiera littoralis* (Sterculiaceae) from China and Australia [J]. Aquatic Botany, 2004, 79: 75 - 86.

[20] 蒋巧兰，牟美蓉，王文卿，等. 真红树和半红树植物体内盐分分布的比较研究 [J]. 厦门大学学报：自然科学版，2006，45 (6)：867 - 872.

[21] 蒋巧兰. 真红树和半红树体内元素分布及耐盐差异比较研究 [D]. 厦门：厦门大学，2007.

[22] 邱凤英. 几种半红树植物生物学特性、耐盐、耐水淹及造林试验研究 [D]. 长沙：中南林业科技大学，2009.

[23] 卞阿娜. 华南滨海区耐盐园林绿化植物选择与配置 [D]. 厦门：厦门大学，2009.

[24] 栾建国，杜灿坤，何德善. 深圳地区红树植物淡水种植试验 [J]. 水生态学杂志，2011，32 (2)：63 - 68.

[25] 杨盛昌，林鹏，中须贺常雄. 5℃夜间低温对红树幼苗光合速率和蒸腾速率的影响 [J]. 植物研究，2001，21 (4)：587 - 591.

[26] 陶文琴，许明波，黄丽宜 等. 4 种红树植物提取物的体外抗菌活性研究 [J]. 安徽农业科学，2011，39 (35)：21666 - 21669.

[27] 刘秀. 几种半红树植物的生物学特性与育苗技术的研究 [D]. 长沙：中南林业科技大学，2008.

[28] 刘秀，李志辉，廖宝文，等. 不同贮存方法对两种半红树植物种子发芽的影响 [J]. 广东林业，2007，23 (6)：9 - 12.

[29] 高秀梅，韩维栋. 银叶树育苗试验研究 [J]. 福建林业科技，2006，33 (3)：140 - 144.

[30] 韩静. 几种半红树植物的育苗技术研究 [D]. 长沙：中南林业科技大学，2010.

[31] 邱凤英，李志辉，廖宝文，等. 几种半红树植物的移栽技术 [J]. 林业实用技术，2008 (9)：46 - 47.

[32] 陈彧，方发之，黄士绮，等. 银叶树造林试验研究 [J]. 热带林业，2011，39 (4)：32 - 33.

[33] 江纪武. 肯尼亚、印度等国民族药 [J]. 国外医学：中医中药分册，2003，25 (2)：61 - 64.

[34] 国家林业局国有林场和林木种苗工作总站. 中国木本植物种子 [M]. 北京：中国林业出版社，2001.

[35] 郑德璋，郑松发，廖宝文，等. 红树林湿地的利用及其保护和造林 [J]. 林业科学研究，1995，8 (3)：322 - 328.

[36] 高秀梅，韩维栋. 论湛江市城市园林树种规划 [J]. 西南林学院学报，2005，25 (3)：36 - 38.

红树植物的化学成分及其生物活性研究进展*

杨维[1]，夏杏洲[1,3]，韩维栋[2]，谌素华[1]，王维民[1]

（1. 广东海洋大学食品科技学院，广东 湛江 524088；
2. 广东海洋大学农学院，广东 湛江 524088；
3. 华南理工大学轻工与食品学院，广东 广州 510640）

摘　要：由于红树植物独特的生长环境，近年来红树科属植物的化学成分和生理活性的研究已成为热点，从中发现许多结构新颖、有强烈生物活性的化合物。综述红树科属植物化学成分及生物活性的研究进展，并在此基础上对红树植物的综合利用进行展望，旨在为该属植物的进一步研究与利用提供参考。

关键词：红树植物；化学成分；生物活性

Study on the chemical constitutes and biological activity of mangrove plants

Yang Wei[1], Xia Xingzhou[1,3], Han Weidong[2], Chen Suhua[1], Wang Weimin[1]

(1. Food Science and Technology College of Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524088, Guangdong; 2. Agriculture College of Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524088, Guangdong; 3. College of Light Industry and Food Sciences, South China University of Technology, Guangzhou 510640, Guangdong)

Abstract: Because of unique growth environment, the research on the chemistry and bioactivities of mangrove plants has become a hot topic in recent years, and many compounds with novel structure and strong biological activity has been found from it. The present paper reviews the latest progress in chemical constituents and bioactivities of mangrove plants, so as to provide referential information for further study and utilization of these genera. On basis, a perspective on the comprehensive utilization of mangrove plants is made.

Key words: mangrove plants; chemical composition; biological activity

红树林是指由红树科的植物组成的，生长在热带、亚热带沿海潮间带滩涂上特有的木本植物，属常绿阔叶林。全球红树林大致分布在南、北回归线之间，共有红树植物 24 科、30 属、86 种（或变种），可分为 2 个中心群系，一是西方群系，另一是东方群系[1]。因其独特的生存环境，红树林有着独一无二的生长特性，不仅具有防风、消浪、护岸、净化环境等生态功能，还具有极高的经济价值。有的红树林种能做木材，有的种子、果实能食用，有的能入药或具有工业用途。

* 原载于：食品研究与开发，2011，32（1）：173－180。

1　我国的红树植物资源及其药用食用价值

迄今为止，中国红树植物共有 42 种，真红树植物 12 科 15 属 28 种（含 1 变种），以及半红树植物 9 科 11 属 11 种，区系上属于东方群系，根据其种类组成、外貌结构和演替特征，可分为 8 个植物群系：红树群系、木榄群系、海莲群系、红海榄群系、角果木群系、秋茄群系、海桑群系和水椰群系，主要分布于广东、广西、福建、海南、台湾、香港、澳门等地区，面积近 1.4 万 hm^2[2]。

红树植物具有极高的食用和药用价值。在民间，人们利用红树植物白骨壤的果实配制各类菜肴，将其作为酿酒的原料，也可用作猪、牛、羊等的饲料。具有药用价值的红树植物很多，约 20 多种，如老鼠簕、角果木、秋茄、海杧果、白骨壤、桐花树、海漆等。早在 1874 年，《中国药材》中就记载红树属植物可作为药材使用。1978 年的《全国中草药汇编》收录了老鼠簕、黄槿和海杧果三种植物[3]。书中记载，老鼠簕可治急慢性肝炎、肝脾肿大、神经痛、腰肌劳损等；黄槿具有清热解毒，散癖消肿之功效；海杧果有催吐、泻下的作用。

2　红树植物化学成分研究现状

红树植物由于其独特的生长环境（如处于高盐度的水陆临界处），根部长期缺氧，长年接受热带、亚热带高强光照射等，常常能够产生一些化学结构新颖，生物活性多样的先导化合物，为新药研究与开发提供资源。因此，近年来越来越多的学者开始研究红树植物，有关红树植物基本化学成分和活性成分论文也相继被发表。目前，已从红树植物中发现了多种类型的化合物：脂肪族醇、氨基酸、多不饱和脂肪酸、萜类、黄酮类、生物碱类、醌类、木脂素类、甾醇类、鞣质、杂环化合物等。

2.1　萜类

萜类化合物是红树植物中含量较高、种类较多的一类化合物。目前已得到多种单萜、倍半萜、二萜、三萜、四萜等化合物。其中最具代表性的红树植物是角果木、海漆、木果楝、瓶花木。

角果木（Ceriops tagal）中含有多种萜类化合物，如：二萜 tagalsinsA-G[4]、tagalsinL、tagalsinNI、tagalsinN[5]、isopimar-8（14）-en-16-hydroxy-15-one、ent-5alpha-dolabr-4（18）-ene-15S，16-diol[6]；三萜 cereotagalol A、cereota-galol B、cereotagaloperoxide[7]、3 beta-(E)-feruloyllupe-ol[8]；四萜 Tagalsins I and J[9]。

海漆（Excoecaria agallocha）为有毒红树植物，已从中分离到了许多新型的二萜化合物：agallochaexcoerins A-C[10]，Agallochaone A[11]，Agallochaol A-J[12-14]，Exco-ecarin A-H、K、S、T、R、V[11,15-22]，agallochin A-L[23-26]和三萜化合物：蒲公英赛酮、β-香树脂醇乙酸酯、3β-（[2E，4E)-6-oxo-decadienoy-loxy]-olean-12-ene、蒲公英赛醇、乙酰油酮酸、cycloart-22-ene-3β，25-diol[27]。

木果楝中含有大量的柠檬苦素类化合物，它们是一类含呋喃环的高度氧化的四环三萜类

化合物。该类化合物具有广泛的生物活性，如杀虫、抗病毒、抗肿瘤、抑菌等作用。到目前为止，已从木果楝属植物中分离得到了近百个柠檬苦素类化合物，如 XyloccensinA-Z[28-37]、XylocarpinA-I[38]、XylogranatinA-R[39-41]、ProtocarpinsA-E[42]、Protoxylogranatin A[43]、Gedunin[44]、XylomexicaninsA-B[45]等。

瓶花木（Scyphiphora hydrophyllacea）是茜草科瓶花木属真红树植物，化学成分多样，最具特点的是环烯醚萜类化合物。如：环烯醚萜苷 Scyphiphorins A、B、C、D[46-47]；环烯醚萜 Scyphiphin A1、A2、B-1、B-2[48]；Hydrophylin A、B[49]。

除此之外，白骨壤、银叶树、杨叶肖槿、桐花树、榄李等也含有多种萜类化合物。

2.2 黄酮类

黄酮类化合物是红树植物的主要化学成分之一，在白骨壤、榄李、老鼠簕、卤蕨、水黄皮、海桑、红海榄等红树植物中大量存在。

贾睿等[50]从采自我国广西的白骨壤（Avicennia marina）中分离得到的 3 个黄酮类化合物：5-羟基-4′，7-二甲氧基黄酮、槲皮素、山柰酚。在榄李（Lamnitzera racemosa）中，主要分离得到的黄酮类化合物有山柰酚、槲皮素、槲皮苷、异槲皮苷。老鼠簕的茎叶根中均含有黄酮、黄酮醇、二氢黄酮、二氢黄酮醇、4′-羟基黄酮醇和 7，4′-二羟基黄酮醇等多种类型的类黄酮化合物，Kokpol 等[51]从老鼠簕根部分离出 5 种黄酮类化合物，如芹菜素（Apigenin）、甲基芹菜素-7-O-β-D-葡萄糖醛酸苷（Methylapigenin-7-O-β-D-glucuronate）、槲皮素（Quercetin）、斛皮素-3-O-β-D-葡萄糖酸苷（quercetin-3-O-β-D-glucopyra-noside）等。梅文莉等[52]从卤蕨（Acrostichum aureurm）的乙醇提取物中分离得到山柰酚和斛皮素。半红树植物水黄皮（Pongamia glabra）中含有多种黄酮类物质，分为黄酮类、黄酮醇类、二氢黄酮类、查耳酮及二氢查耳酮类。1990 年日本学者 Tanaka 等[53]从水黄皮根皮中分离得到 2 个新查耳酮 Ponganones Ⅰ和 Ponganones Ⅱ。1991 年他们从根皮中又分得 5 个新查耳酮 Ponganone Ⅵ、Ⅶ、Ⅷ、Ⅸ、Ⅹ[54]。Samir Kumar Sadhu 等学者研究了海桑中的黄酮类化合物：luteolin 和 luteolin 7-O-bglucoside[55]。Takara K 等从红海榄的茎中得到 2 个 flavan-3-ol glycosides，命名为 glabraoside A 和 glabraoside B[56]。

2.3 生物碱类

生物碱（alkaloid）是存在于自然界中的一类含氮的碱性有机化合物。目前，红树植物中关于生物碱类化合物的报道并不多，木果楝和老鼠簕中被发现有几种生物碱类化合物。

从木果楝（Xylocarpus granatum）中分离得到原小檗碱型生物 dihydrochelerythrine[57]、chelerythrine[58]和柠檬苦素类的生物碱，如 Granatoine、Xylogranatinin 等。从老鼠簕属植物中已分离出 2 个吡啶生物碱类化合物 acanthicifoline 和 trigonellin[59]。

2.4 醌类

醌类化合物是红树植物中的常见成分之一，其中白骨壤最具代表性。Han 等[60]在研究我国厦门白骨壤（Avicennia marina）树枝的过程中，分离得到 12 种萘醌化合物，包括 avicennonesA G，avicequinones A、C，stenocarpoquinone B，and avicenols A、C。贾睿等[50]从白骨壤中分离得到了 2 个已知的苯醌类化合物：白骨壤醌 B 和白骨壤醌 C。除此之外，

在榄李（Lamnitzera racemosa）中分离得到的蒽醌类化合物：大黄素[61]，在 A. alba 的树皮中分离到 6 种萘醌化合物：avicequinone-s A 、B 、C, and avicenols A、B、C[62]。在杨叶肖槿（Thes-pesia populne）中分离到的一类高度氧化的倍半萜醌类化合物 mansonone D, mansonone H, thespesone 和 thes-pone[63]。

2.5　木脂素类

木脂素是一类由两分子苯丙素衍生物聚合而成的天然化合物，老鼠簕中已被发现含有多种木脂素类化合物。Kanchanapoom 等[64]从采自泰国的老鼠簕（Acanthus ilicifolius）中分离得到 acanfolioside。据统计，目前已从老鼠簕属植物中分离得到 9 个木脂素类化合物，分别为 3 个单四氢呋喃类，2 个双单四氢呋喃类，3 个芳基萘类和 1 个以互变平衡体存在的 magnolenin C[59]。

2.6　甾醇类

许多红树植物都含有甾醇类化合物，如老鼠簕、海漆、榄李、无瓣海桑、桐花树等。目前已从其中分离得到多种甾醇类化合物，如异盐藻甾醇、β-谷甾醇、菜油甾醇、豆甾醇、胆甾醇、$\triangle^7$ - 豆甾烯醇、豆甾醇-β- D-葡萄糖苷。其中β-谷甾醇、豆甾醇在红树植物中较常见。

2.7　鞣质

鞣质是红树植物中十分常见的一类成分，许多红树植物的树皮中都含有，含量随植物种类的不同而不同，鞣质被氧化后会变成红色，部分被氧化的鞣质使得树皮呈现红色，红树林植物也是由此得名[30]。

真红树树皮的鞣质含量（质量分数）通常在 1% ～ 30% 之间，有开发利用的价值。榄（Lamnitzera racemosa）中含有大量的鞣质，如：corilagin、chebulagic acid 和 castalagin，是丰富的鞣质源。Hsu 等[65]通过对来自秋（Kandelia candel）树皮进行研究，不仅发现有原天竺葵定（propelargonidin）二聚物、原花青定（procyanidin）三聚物，这些与其他物种共有的原花色素（缩合单宁），还发现了 2 种新的原花色素二聚物：秋茄素（kandelins）A -1、A -2 和 4 个三聚物：秋茄素（kandelins）B -1、B -2、B -3、B -4。

2.8　糖类化合物

糖类是红树植物的主要化学成分之一，其含量与植物品种、树龄、产地以及植物体内不同部位的分布规律密切相关。据报道，已从老鼠簕和白骨壤中分离得到多种糖类。方旭波等[66-67]从白骨壤中分离纯化得到酸性多糖和中性多糖；从老鼠簕也分离得到多种粗多糖、酸性多糖和中性多糖。

2.9　其他化合物

除了以上 8 类化合物外，红树植物还含有许多其他成分，如脂肪酸、糖苷类、有机酸类、香豆素类、苯环衍生物等。