



异叶三宝木的二萜成分及抗菌活性研究

岑祥妮, 范艺瀛, 刘浩文, 李佳莹, 王川林, 刘平怀

引用本文:

岑祥妮, 范艺, 刘浩文, 李佳莹, 王川林, 刘平怀. 异叶三宝木的二萜成分及抗菌活性研究[J]. 热带亚热带植物学报, 2023, 31(4): 602–606.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.11926/jtsb.4753>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

木槿的化学成分研究

Chemical Constituents from the Stems of *Hibiscus syriacus*

热带亚热带植物学报. 2021, 29(3): 331–338 <https://doi.org/10.11926/jtsb.4288>

杨桃叶的化学成分研究

Chemical Constituents from the Leaves of *Averrhoa carambola*

热带亚热带植物学报. 2021, 29(1): 105–111 <https://doi.org/10.11926/jtsb.4246>

宁前胡内生真菌 *Fusarium tricinctum* 固体发酵代谢产物研究

Metabolites of *Fusarium tricinctum*, An Endophytic Fungus Isolated from Ningguo *Peucedanum praeruptorum* on Solid Fermentation

热带亚热带植物学报. 2020, 28(2): 203–208 <https://doi.org/10.11926/jtsb.4135>

白花鬼针草中多烯炔类成分的分离及其生物活性研究

Studies on Isolation of Polyacetylenes from *Bidens pilosa* var. *radiata* and Their Biological Activities

热带亚热带植物学报. 2021, 29(2): 216–220 <https://doi.org/10.11926/jtsb.4312>

薏苡糠壳的化学成分及其种子萌发活性研究

Chemical Constituents of *Coix lachryma-jobi* and Their Activities on Seed Germination

热带亚热带植物学报. 2021, 29(5): 556–562 <https://doi.org/10.11926/jtsb.4339>

向下翻页，浏览PDF全文

异叶三宝木的二萜成分及抗菌活性研究

岑祥妮, 范艺瀛, 刘浩文, 李佳莹, 王川林, 刘平怀*

(海南大学化学工程与技术学院, 海口 570228)

摘要: 为研究异叶三宝木(*Trigonostemon heterophyllus*)的二萜成分及其抗菌活性, 采用硅胶柱层析、凝胶柱层析、高效液相色谱对萃取物进行分离纯化, 结合现代波谱技术对所得化合物进行结构鉴定, 并通过牛津杯法和 2 倍稀释法检测化合物对革兰氏阴性菌大肠杆菌(*Escherichia coli*)以及革兰氏阳性菌肺炎双球菌(*Pneumococcus*)的生长抑制活性和 MIC 值。从异叶三宝木中分离得到了 6 个化合物, 包括 5 个二萜类, 1 个木脂素类, 分别鉴定为 trigonochinene E (1)、neoboutomannin (2)、6,9-*O*-dedimethyltrigonostemone (3)、stelltian B (4)、3,4-secosonderianol (5)、biondinin A (6)。化合物 1、2、3、5 对大肠杆菌有抑制作用, MIC 值分别为 9.375、18.75、18.75、18.75 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 。化合物 2、3、4、6 为首次从该种植物中分离得到, 化合物 4 为首次从该属植物中分离得到。除化合物 4 外, 其他化合物都有一定的抗菌活性, 且化合物 1、2、3 对大肠杆菌抑制作用强于阳性对照硫酸卡那霉素。

关键词: 异叶三宝木; 二萜类; 大肠杆菌; 肺炎双球菌

doi: 10.11926/jtsb.4753

Chemical Constituents and Antibacterial Activities of *Trigonostemon heterophyllus*

CEN Xiangni, FAN Yiying, LIU Haowen, LI Jiayin, WANG Chuanlin, LIU Pinghuai*

(School of Chemical Engineering and Technology, Hainan University, Haikou 570228, China)

Abstract: To understand the chemical constituents and antibacterial activities of *Trigonostemon heterophyllus*, six compounds, including five diterpenoids and one lignan, were isolated and purified by silica gel column chromatography, gel column chromatography and high performance liquid chromatography. Based on spectroscopic data, their structures were identified as trigonochinene E (1), neoboutomannin (2), 6,9-*O*-dedimethyl trigonostemone (3), stelltian B (4), 3,4-secosonderianol (5), biondinin A (6). The inhibitory activity and MIC values of compounds against a Gram-negative bacterium, *Escherichia coli*, and a Gram-positive bacterium, *Pneumococcus*, were detected by Oxford Cup method and double dilution method. Compounds 1, 2, 3 and 5 had inhibitory effects on *Escherichia coli* with MIC values of 9.375, 18.75, 18.75 and 18.75 $\mu\text{g}/\text{mL}$, respectively. Compounds 2, 3, 4, and 6 were isolated from *T. heterophyllus* for the first time, and compound 4 was isolated from *Trigonostemon* genus for the first time. Except compound 4, all the other compounds had certain antibacterial activity, and compounds 1, 2 and 3 had stronger inhibitory effect on *Escherichia coli* than Kanamycin sulfate positive control.

Key words: *Trigonostemon heterophyllus*; Diterpenoids; *Escherichia coli*; *Pneumococcus*

大戟科(Euphorbiaceae)三宝木属(*Trigonostemon*)植物全世界有 50~80 种, 主要在热带和亚热带的亚洲地区分布^[1], 我国现有 10 种, 分别为三宝木(*T.*

chinensis)、孟仑三宝木(*T. lii*)、长梗三宝木(*T. thyrsoideus*)、黄花三宝木(*T. lutescens*)、异叶三宝木(*T. heterophyllus*)、剑叶三宝木(*T. xyphophylloides*)、

收稿日期: 2022-11-22 接受日期: 2023-01-10

基金项目: 海南省重点研发计划项目(ZDYF2020169)资助

This work was supported by the Key Research & Development Program in Hainan (Grant No. ZDYF2020169).

作者简介: 岑祥妮(1997 年生), 女, 硕士研究生, 研究方向为天然产物研究与开发。E-mail: cenxiangni@163.com

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: twlph@163.com

长序三宝木(*T. howii*)、白花三宝木(*T. leucanthus*)、丝梗三宝木(*T. filipes*)和黄花木(*T. huangmosu*), 主产于海南、云南、贵州以及广西、广东等南部省区^[2]。异叶三宝木是海南特有植物, 生长于低、中海拔的山谷密林之中, 高 1~2 m; 叶子长 12~35 cm, 宽 4~10 cm, 其果序梗长 1~8 cm, 有长约 2 cm 的宿存萼片和苞片, 且均呈现披针形状; 蒴果与球形近似^[2]。三宝木植物在海南当地用来治疗平喘病, 在东南亚地区还可作为杀菌防腐剂, 解毒剂, 化痰止咳制剂^[3-4]。三宝木植物的主要化学成分为萜类^[5-6](二萜及其二聚体)、甾体类、木质素和生物碱类。现代药理研究表明, 三宝木植物具有抗病毒^[7]、抗肿瘤^[8]、抗炎镇痛^[9]、抗菌^[10]和其他生物活性。近 10 年来, 国内外从三宝木植物中分离出了 100 多个新二萜类化合物^[5], 绝大多数表现出显著的生物活性。异叶三宝木是海南岛的特有灌木, 目前对这种三宝木的化学成分和药理活性研究较少, 为进一步开发异叶三宝木的药用价值, 明确其活性物质基础, 本文对其化学成分及其抗菌活性进行系统研究。

1 材料和方法

1.1 材料和仪器

材料于 2021 年 12 月采自海南省五指山市, 经海南大学刘平怀教授鉴定为异叶三宝木(*Trigonostemon heterophyllus*)的枝条, 样品保存于海南大学化学工程与技术学院药食同源生化工程实验室。革兰氏阴性菌大肠杆菌(*Escherichia coli*) ATCC8739 以及革兰氏阳性菌肺炎双球菌(*Pneumococcus*) ATCC8576 均保存于海南大学化学工程与技术-40 °C 冰箱。

BSZ-100 自动部分收集器(上海琪特仪器); Bruker Avance III 600 型核磁共振波谱仪(德国布鲁克); 紫外检测器(大连依利特); DAD1024 二极管阵列检测器(大连依利特); 色谱柱为 SB-PHENYL (9.4 mm×250 mm, 5 μm, Agilent); 实验室超纯水机(上海和泰仪器); Waters UPLC-QTOF 液质联用仪(美国 Waters 公司); Sephadex LH-20 凝胶(上海源叶); 硅胶(青岛海洋化工); 旋转蒸发器(艾卡仪器); 石油醚、二氯甲烷、乙酸乙酯、色谱甲醇等试剂(西陇科学)。

1.2 提取与分离

异叶三宝木枝条阴干, 取干燥枝条 5.0 kg 以 95%乙醇加热回流提取 3 次, 减压浓缩得到乙醇浸膏 145 g。浸膏用水混悬, 依次石油醚、二氯甲烷、

乙酸乙酯萃取, 得到石油醚浸膏 9.9 g, 二氯甲烷 12 g, 乙酸乙酯 6.4 g。取石油醚段萃取物(9.9 g)进行硅胶柱层析洗脱[石油醚:乙酸乙酯(1:0~0:1)], TLC 合并共得到 6 个流分(E1~E6)。取流分 E5 (2.4 g)用 Sephadex LH-20 凝胶, 二氯甲烷:甲醇=1:1 洗脱, TLC 合并得到 5 个流分(E5-1~E5-5), 取流分 E5-2 (23 mg)进行液相纯化, 流动相为甲醇:0.1%甲酸水=80:20, 分离得到高纯度化合物 1 (2.1 mg)。取流分 E6 (1.5 g)用 Sephadex LH-20 凝胶, 二氯甲烷:甲醇=1:1 洗脱, TLC 合并得到 6 个流分(E6-1~E6-6), 取流分 E6-4 (18.4 mg)进行液相纯化, 流动相为 80%甲醇, 分离得到高纯度化合物 2 (1.6 mg)。取乙酸乙酯段萃取物 12 g 进行硅胶柱层析洗脱[二氯甲烷:甲醇(1:0~0:1)], TLC 合并共得到 6 个流分(F1~F6)。取流分 F1 (3.2 g)进行硅胶柱洗脱, TLC 合并得到 6 个流分(F1-1~F1-6), 取流分 F1-3 (1.2 g)用 Sephadex LH-20 凝胶, 二氯甲烷:甲醇=1:1 洗脱, TLC 合并得到 5 个流分(F1-3-1~F1-3-5)。取流分 F1-3-2 进行液相纯化, 液相条件为 70%甲醇, 分离得到高纯度化合物 3 (1.2 mg), 流分 F1-3-4 用 70%甲醇 HPLC 纯化, 分离得到高纯度化合物 6 (1.5 mg)。取流分 F2 (2.6 g)进行凝胶柱层析分离, TLC 合并得到 5 个流分 F2-1~F2-6, 流分 F2-4 (32 mg)用 HPLC [甲醇:0.1%甲酸水=80:20]洗脱, 分离得到高纯度化合物 4 (2.4 mg)和 5 (1.8 mg)。化合物 1~6 化学结构如图 1。

1.3 结构鉴定

化合物 1 白色粉末; ESI-MS m/z : 321 [M + Na]⁺, 分子式 C₁₈H₁₈O₄。¹H NMR (600 MHz, CDCl₃): δ 8.08 (1H, s, H-14), 7.79 (1H, s, H-11), 7.65 (1H, s, H-1), 6.89 (1H, s, H-6), 4.06 (6H, d, $J = 4.2$ Hz, 2-OMe, 7-OMe), 2.56 (3H, s, H-16), 2.46 (3H, s, H-15); ¹³C NMR (151 MHz, CDCl₃): δ 100.27 (C-1), 144.65 (C-2), 143.39 (C-3), 116.44 (C-4), 127.54 (C-5), 96.18 (C-6), 152.35 (C-7), 123.54 (C-8), 131.34 (C-9), 119.90 (C-10), 106.02 (C-11), 153.50 (C-12), 118.97 (C-13), 124.53 (C-14), 16.19 (C-15), 11.19 (C-16), 55.21 (2-OMe), 55.93 (7-OMe)。上述数据与文献[11]报道的基本一致, 故鉴定为 trigonochinene E。

化合物 2 橙色固体; ESI-MS m/z : 529 [M + Na]⁺, 分子式 C₃₂H₂₆O₆。¹H NMR (600 MHz, DMSO-d₆): δ 10.57 (1H, s, 11-OH, 11'-OH), 7.93 (1H, s, H-13, 13'), 7.13 (1H, s, H-10, 10'), 6.77 (1H, s, H-5, 5'), 2.20 (3H, s, H-14, 14'), 1.43 (3H, s, H-15, 15'), 1.32 (3H, s,

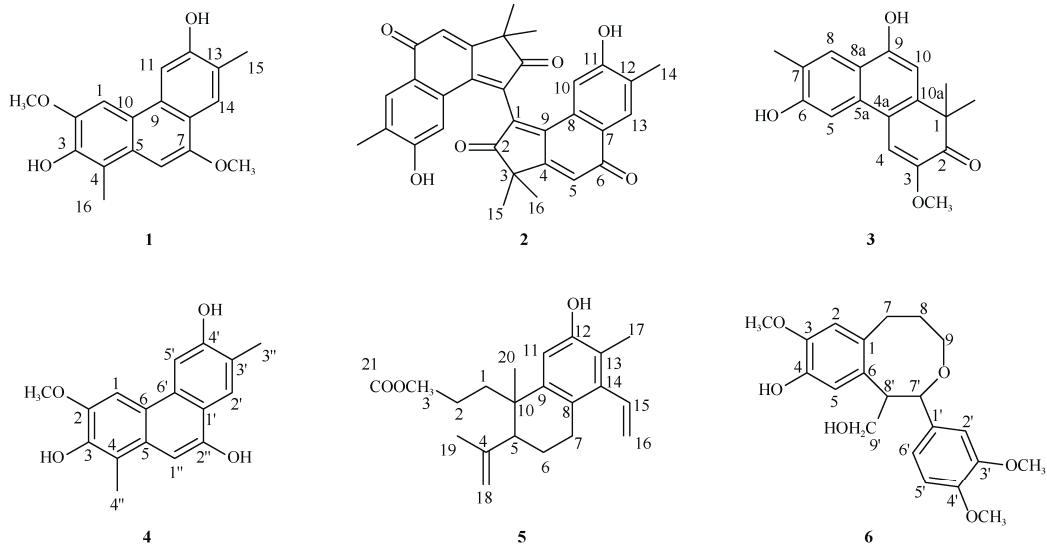


图 1 化合物 1~6 的结构

Fig. 1 Structures of compounds 1~6

H-16, 16'); ^{13}C NMR (151 MHz, DMSO- d_6): δ 133.19 (C-1, 1'), 204.33 (C-2, 2'), 45.39 (C-3, 3'), 160.00 (C-4, 4'), 121.05 (C-5, 5'), 183.11 (C-6, 6'), 123.58 (C-7, 7'), 129.66 (C-8, 8'), 151.52 (C-9, 9'), 111.81 (C-10, 10'), 160.23 (C-11, 11'), 130.03 (C-12, 12'), 129.68 (C-13, 13'), 16.26 (C-14, 14'), 22.46 (C-15, 15'), 23.60 (C-16, 16'). 上述数据与文献[12]报道的基本一致, 故鉴定为 *neoboutomannin*。

化合物 3 深黄色晶体; ESI-MS m/z : 321 [M + Na] $^+$, 分子式 $\text{C}_{18}\text{H}_{18}\text{O}_4$ 。 ^1H NMR (600 MHz, CD_3OD): δ 7.94 (1H, s, H-8), 7.45 (1H, s, H-5), 7.42 (1H, s, H-4), 6.75 (1H, s, H-10), 3.89 (3H, s, -OMe), 2.36 (3H, s, 7-Me), 1.47 (6H, s, 1-Me); ^{13}C NMR (151 MHz, MeOD): δ 50.14 (C-1), 201.81 (C-2), 148.04 (C-3), 115.08 (C-4), 114.25 (C-4a), 104.47 (C-5), 133.43 (C-5a), 157.31 (C-6), 127.05 (C-7), 125.14 (C-8), 119.99 (C-8a), 155.45 (C-9), 105.06 (C-10), 144.61 (C-10a), 55.90 (3-OMe), 28.80 (1-Me), 16.85 (7-Me)。 上述数据与文献[13]报道的基本一致, 故鉴定为 *6,9-O-dedimethyltrigonostemone*。

化合物 4 白色粉末; ESI-MS m/z : 307 [M + Na] $^+$, 分子式 $\text{C}_{17}\text{H}_{16}\text{O}_4$ 。 ^1H NMR (600 MHz, CD_3OD): δ 7.93 (1H, s, H-1), 7.70 (1H, s, H-5'), 7.67 (1H, s, H-1''), 4.03 (3H, s, 2-OMe), 2.50 (3H, s, H-4''), 2.36 (3H, s, H-3''); ^{13}C NMR (151 MHz, MeOD): δ 96.66 (C-1), 144.86 (C-2), 144.39 (C-3), 127.90 (C-4), 118.16 (C-5), 120.93 (C-6), 120.29 (C-1'), 124.93 (C-2'), 125.58

(C-3'), 156.29 (C-4'), 105.21 (C-5'), 106.34 (C-1''), 153.23 (C-2''), 16.78 (C-3''), 11.52 (C-4''), 55.52 (2-OMe)。 上述数据与文献[14]报道的基本一致, 故鉴定为 *stelltian B*。

化合物 5 淡黄色油状物; ESI-MS m/z : 351 [M + Na] $^+$, 分子式 $\text{C}_{21}\text{H}_{28}\text{O}_3$ 。 ^1H NMR (600 MHz, CD_3OD): δ 6.66 (1H, s, H-11), 6.62 (1H, dd, $J = 18.0, 12.0$ Hz, H-15), 5.51 (1H, dd, $J = 12.0, 2.4$ Hz, H-16), 5.12 (1H, dd, $J = 18.0, 2.4$ Hz, H-16), 4.94 (1H, m, H-18), 4.71 (1H, d, $J = 1.2$ Hz, H-18), 3.58 (3H, m, H-21), 2.72 (1H, ddd, $J = 16.8, 4.8, 3.0$ Hz, H-2, 7), 2.49 (1H, m, H-2, 7), 2.40 (1H, dd, $J = 12.0, 3.0$ Hz, H-2, 7), 2.22 (1H, m, H-2, 7), 2.20 (3H, s, H-17), 1.98 (2H, m, H-1, 6), 1.85 (2H, m, H-1, 6), 1.79 (3H, m, H-19), 1.45 (1H, m, H-5), 1.20 (3H, m, H-20); ^{13}C NMR (151 MHz, MeOD): δ 36.23 (C-1), 29.52 (C-2), 176.33 (C-3), 141.99 (C-4), 48.00 (C-5), 26.14 (C-6), 30.42 (C-7), 127.06 (C-8), 140.07 (C-9), 42.02 (C-10), 112.28 (C-11), 154.77 (C-12), 121.19 (C-13), 148.44 (C-14), 135.729 (C-15), 119.76 (C-16), 13.28 (C-17), 114.69 (C-18), 23.20 (C-19), 28.31 (C-20), 52.03 (C-21)。 上述数据与文献[15]报道的基本一致, 故鉴定为 *3,4-secosonderianol*。

化合物 6 无色油状; ESI-MS m/z : 397 [M + Na] $^+$, 分子式 $\text{C}_{21}\text{H}_{26}\text{O}_6$ 。 ^1H NMR (600 MHz, DMSO- d_6): δ 6.94 (2H, d, $J = 9.0, 2.4$ Hz, H-2', 5'), 6.87 (1H, dd, $J = 9.0, 2.4$ Hz, H-6'), 6.68 (2H, s, H-2, 5), 5.45

(1H, d, $J = 6.6$ Hz, H-7'), 3.77 (2H, s, H-9), 3.75 (3H, d, $J = 4.8$ Hz, H-9', -OH), 3.73 (9H, d, $J = 2.4$ Hz, 3-OMe, 3'-OMe, 4'-OMe), 3.70 (1H, m, H-8'), 2.58 (2H, m, H-7), 1.69 (2H, m, H-8); ^{13}C NMR (151 MHz, DMSO- d_6): δ 128.89 (C-1), 111.59 (C-2), 143.36 (C-3), 145.47 (C-4), 109.63 (C-5), 134.12 (C-6), 34.78 (C-7), 31.58 (C-8), 62.98 (C-9), 135.15 (C-1'), 112.36 (C-2'), 148.71 (C-3'), 148.44 (C-4'), 116.44 (C-5'), 118.05 (C-6'), 86.66 (C-7'), 53.45 (C-8'), 60.20 (C-9'), 55.65 (3-OMe), 55.53 (3'-OMe), 55.46 (4'-OMe)。上述数据与文献[16]报道的基本一致, 故鉴定为 biondinin A。

1.4 抗菌活性测试

采用牛津杯法检测化合物 1~6 的抑菌圈直径, 将活化好的大肠杆菌和肺炎双球菌接种于 50 mL 三角瓶中, 160 r/min 摇菌 12 h, 将两种菌用无菌生理盐水稀释, 与 0.5 麦氏比浊管比色, 配制浓度为 5×10^5 CFU/mL 的试验菌液。吸取菌液 100 μL 涂布在平板上, 待菌液吸收后将牛津杯放置于表面, 在杯中加入 100 μL 2 mg/mL 的各待检样品, 阳性对照为 2 mg/mL 硫酸卡那霉素, 空白对照用 DMSO 溶液。

采用 2 倍稀释法^[17], 配制待测样品初始质量浓度为 2 mg/mL, 依次用营养肉汤稀释使其浓度减半, 通过设置浓度梯度验证其对试验菌作用, 其浓度梯度依次为: 2、1、0.5、0.25、0.125、0.062 5、0.031 2、0.015 6、0.007 8 mg/mL。在 96 孔板的 A1~A9 行中, 依次各加入 20 μL 被稀释成系列浓度的药液^[18], 在各孔内加入所制备菌接种物均为 180 μL ; 第 1 至 9 孔的最终药物浓度均在加入时浓度的基础上稀释 10 倍, 分别为 200、100、50、25、12.5、6.25、3.12、1.56、0.78 $\mu\text{g/mL}$ 。阳性对照组为硫酸卡那霉素, 营养肉汤设置为空白对照, 37 $^{\circ}\text{C}$ 恒温培养箱培养数小时(大肠杆菌 16~18 h, 肺炎双球菌 7~9 h)。MIC 值由同一排孔中最后 1 个澄清的孔对应浓度和第 1 个浑浊的孔对应浓度取平均值, 即 $\text{MIC} = (\text{最后 1 个澄清的孔对应浓度} + \text{第 1 个浑浊的孔对应浓度}) / 2$ 。

2 结果和讨论

2.1 异叶三宝木化学成分分析

从异叶三宝木的石油醚、二氯甲烷萃取部位分离得到 6 个化合物, 包括 5 个二萜类(化合物 1~5)和 1 个木脂素类(化合物 6), 分别鉴定为 trigonochinene E (1)、neoboutomannin (2)、6,9-*O*-dedimethyltrigono-

stemone (3)、stellian B (4)、3,4-secosonderianol (5) 和 biondinin A (6)。化合物 2、3、4、6 为首次从该种植物中分离得到, 化合物 4 为首次从该属植物中分离得到。

2.2 化合物对大肠杆菌生长抑制活性

牛津杯法检测化合物 trigonochinene E (1)、neoboutomannin (2)、6,9-*O*-dedimethyltrigonostemone (3)、3,4-secosonderianol (5) 对大肠杆菌生长有抑制作用, 抑菌圈直径和抑菌程度分别为 12.2 (中敏感)、14.7 (中敏感)、13.7 (中敏感) 和 4.2 mm (低敏感), 阳性对照硫酸卡那霉素为 11.7 mm, 中等敏感程度。微量肉汤稀释法测定的最小浓度分别为 9.375、18.75、18.75、18.75 $\mu\text{g/mL}$, 阳性对照为 18.75 $\mu\text{g/mL}$ 。

2.3 化合物对肺炎双球菌生长抑制活性

化合物 trigonochinene E (1)、biondinin A (6) 对肺炎双球菌生长有抑制作用, 抑菌圈直径分别为 9.2 和 4.2 mm, 抑菌程度均为低敏感。阳性对照硫酸卡那霉素为 12.2 mm, 为中等敏感程度。微量肉汤稀释法测定的最小浓度分别为 9.375 和 150.0 $\mu\text{g/mL}$, 阳性对照为 1.170 $\mu\text{g/mL}$ 。

二萜类化合物具有广谱的抗菌活性, 其抑菌机制是通过破坏菌体的细胞壁和细胞膜, 影响其代谢途径, 或与其细胞表面的蛋白结合, 阻止营养吸收, 从而抑制生长导致细菌死亡^[19]。trigonochinene E (1)、3,4-secosonderianol (5)、neoboutomannin (2) 等二萜物质对多种细菌和真菌具有抗菌作用。Trigonochinene E (1) 对幽门螺杆菌(*Helicobacter pylori* SS1)、金黄色葡萄球菌(*Staphylococcus aureus* ATCC25923)、表皮葡萄球菌(*S. epidermidis* ATCC12228)、藤黄微球菌(*Micrococcus luteus* ATCC9341)、白色念珠菌(*Candida albicans* ACTT1600)、石膏小孢子菌(*Microsporum gypseum*) 具有抑菌效果, 抗金黄色葡萄球菌、表皮葡萄球菌作用强于阳性对照木兰醇, 对石膏小孢子菌抑制效果强于阳性对照土荆皮乙酸^[11]。3,4-secosonderianol (5) 浓度为 1 $\mu\text{g}/50 \mu\text{L}$ 带药滤纸片具有抗金黄色葡萄球菌活性, 抑菌圈直径为 13.8 mm^[20]。Neoboutomannin (2) 对金黄色葡萄球菌、变形杆菌(*Proteus mirabilis*)、粪肠球菌(*Enterococcus faecalis*)、白色念珠菌、热带念珠菌(*C. tropicalis*) 和近平滑念珠菌(*C. parapsilosis*) 有活性^[12]。MIC 值分别为 3.12、25、3.12、6.25、1.56、1.56 $\mu\text{g/mL}$ 。本研究结果表明, 从异叶三宝木分离的 5 种二萜物质中 trigonochinene E (1)、neoboutomannin (2)、6,9-*O*-

dedimethyltrigonostemone (3)、3,4-secosonderianol (5) 的抗菌效果较为优异, 与前人^[11]研究结果相符。

异叶三宝木是海南特有的热带植物, 本研究结果进一步丰富了异叶三宝木中的化学成分及其抗菌活性药理研究, 对于热带植物的开发与利用具有重要的意义。

参考文献

- [1] WU D L. Flora of Guangzhou, Tomus 5 [M]. Guangzhou: Guangdong Science and Technology Press, 2003: 379. [吴德邻. 广东植物志, 第 5 卷 [M]. 广州: 广东科技出版社, 2003: 379.]
- [2] Delectis Florae Reipublicae Popularis Sinicae, Agenda Academiae Sinicae Editta. Florae Reipublicae Popularis Sinicae, Tomus 44(2) [M]. Beijing: Science Press, 1996:162–169. [中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志, 第 44 卷第 2 分册 [M]. 北京: 科学出版社, 1996: 162–169.]
- [3] XU J B, YUE J M. Recent studies on the chemical constituents of *Trigonostemon* plants [J]. Org Chem Front, 2014, 1(10): 1225–1252. doi: 10.1039/c4qo00161c.
- [4] CHEN H D, YANG S P, HE X F, et al. Trigochinins A–C: Three new daphnane-type diterpenes from *Trigonostemon chinensis* [J]. Org Lett, 2010, 12(6): 1168–1171. doi: 10.1021/ol9028995.
- [5] WANG B W, YU M, FENG J, et al. Study progress on chemical constituents and biological activities of *Trigonostemon* genus [J]. China J Chin Mat Med, 2020, 45(19): 4589–4597. [王博闻, 郁萌, 冯剑, 等. 三宝木属植物化学成分及其药理活性研究进展 [J]. 中国中药杂志, 2020, 45(19): 4589–4597. doi: 10.19540/j.cnki.cjcm.20200710.601.]
- [6] WANG B W, ZUO A X, MA G X, et al. Chemical constituents of *Trigonostemon xyphophylloides* [J]. Chin Trad Herb Drugs, 2021, 52(20): 6157–6162. [王博闻, 左邀勋, 马国需, 等. 剑叶三宝木的化学成分研究 [J]. 中草药, 2021, 52(20): 6157–6162. doi: 10.7501/j.issn.0253-2670.2021.20.004.]
- [7] ZHANG L, LUO R H, WANG F, et al. Daphnane diterpenoids isolated from *Trigonostemon thyrsoideum* as HIV-1 antivirals [J]. Phytochemistry, 2010, 71(16): 1879–1883. doi: 10.1016/j.phytochem.2010.08.008.
- [8] YANG C. Study on antitumor active constituents in *Trigonostemon howii* Merr. et Chun [D]. Yangzhou: Yangzhou University, 2022. [杨超. 长序三宝木中抗肿瘤活性成分的研究 [D]. 扬州: 扬州大学, 2022. doi: 10.27441/d.cnki.gyzdu.2022.001965.]
- [9] XU J, PENG M Q, SUN X C, et al. Bioactive diterpenoids from *Trigonostemon chinensis*: Structures, NO inhibitory activities, and interactions with iNOS [J]. Bioorg Med Chem Lett, 2016, 26(19): 4785–4789. doi: 10.1016/j.bmcl.2016.08.026.
- [10] TANG G H, HE H P, GU Y C, et al. 3,4-secoditerpenoids from *Trigonostemon flavidus* [J]. Tetrahedron, 2012, 68(47): 9679–9684. doi: 10.1016/j.tet.2012.09.052.
- [11] YIN S, SU Z S, ZHOU Z W, et al. Antimicrobial diterpenes from *Trigonostemon chinensis* [J]. J Nat Prod, 2008, 71(8): 1414–1417. doi: 10.1021/np800256x.
- [12] TENE M, TANE P, DE DIEU TAMOKOU J, et al. Degraded diterpenoids from the stem bark of *Neoboutonia mannii* [J]. Phytochem Lett, 2008, 1(2): 120–124. doi: 10.1016/j.phytol.2008.06.003.
- [13] LI S F, HE H P, HAO X J. Three new phenanthrene constituents from *Trigonostemonlii* [J]. Nat Prod Res, 2015, 29(19): 1845–1849. doi: 10.1080/14786419.2015.1009066.
- [14] YAO C H, SHA X S, SONG H L, et al. Two new compounds from the aerial parts of *Stelleropsis tianshanica* and their cytotoxic activity [J]. Phytochem Lett, 2021, 42: 134–137. doi: 10.1016/j.phytol.2020.09.009.
- [15] CRAVEIRO A A, SILVEIRA E R. Two cleistanthane type diterpenes from *Croton sonderianus* [J]. Phytochemistry, 1982, 21(10): 2571–2574. doi: 10.1016/0031-9422(82)85259-X.
- [16] MA Y L, HAN G Q. A novel neolignan, biondinin A, from *Magnolia biondii* Pamp [J]. Chin Chem Lett, 1992(2): 121–122.
- [17] JIANG N, LIU X P, TENG J X, et al. Inhibitory effects of *Magnolia officinalis* Rehd. et Wils. leaf extract against *Ralstonia solanacearum* on potato and its control efficacy on potato bacteria wilt [J]. Plant Prot, 2008, 34(2): 58–60. [姜宁, 刘晓鹏, 滕建勋, 等. 紫油厚朴叶提取物对马铃薯青枯病菌的抑制作用及防病效果 [J]. 植物保护, 2008, 34(2): 58–60. doi: 10.3969/j.issn.0529-1542.2008.02.015.]
- [18] ZHONG C C, ZHAO J T, FAN Y, et al. Research progress on ultrasonic extraction of total flavonoids from *Prunella vulgaris* L. and its antibacterial activity [J]. J Harbin Univ Commer (Nat Sci), 2019, 35(6): 651–653. [钟楚楚, 赵晋彤, 范宇, 等. 超声提取夏枯草总黄酮及抑菌活性研究 [J]. 哈尔滨商业大学学报(自然科学版), 2019, 35(6): 651–653. doi: 10.3969/j.issn.1672-0946.2019.06.003.]
- [19] WEI C L, CUI P W, XIAO J, et al. Research progress of natural diterpenoids with antibacterial activity [J]. Chin Trad Patent Med, 2022, 44(7): 2240–2249. [韦春玲, 崔培梧, 肖瑾, 等. 具有抗菌活性的天然二萜类化合物研究进展 [J]. 中成药, 2022, 44(7): 2240–2249. doi: 10.3969/j.issn.1001-1528.2022.07.030.]
- [20] GU H G. Isolation, identification and bioactive secondary metabolites of the endophytic fungi from *Ceriops tagal* [D]. Aral: Tarim University, 2013. [古海刚. 角果木内生真菌分离、鉴定及其生物活性次生代谢产物研究 [D]. 阿拉尔: 塔里木大学, 2013.]