蕉木的化学成分研究

刘庭亮[1,2], 王甜甜[3], 郑文琳[1,2], 吴嘉正[1,2], 杜世云[2], 贺震旦[2], 吴 炎[2,4*]

(1. 深圳大学医学部药学院, 广东 深圳 518060; 2. 深圳技术大学药学院, 广东 深圳 518118; 3. 河南大学药学院, 河南 开封 475004; 4. 暨南大学, 教育部中药现代化与创新药物研究国际合作联合实验室, 广东 广州 510632)

摘要: 采用硅胶、凝胶柱色谱及半制备液相等色谱分离技术, 从蕉木 [*Meiogyne hainanensis* (Merr.) N. T. Ban] 枝叶的提取物中分离得到13个化合物。通过核磁、紫外及质谱等方法鉴定化合物结构, 分别为蕉木聚炔N (chienhainanin N, **1**)、(*S*)-15,16-didehydrocoriolic acid methyl ester (**2**)、13(*S*)-羟基-9*Z*,11*E*,15*E*-十八碳三烯酸 (**3**)、(*S*)-coriolic acid (**4**)、13-氧代-9*Z*,11*E*-十八碳二烯酸 (**5**)、13-氧代-9*E*,11*E*-十八碳二烯酸 (**6**)、9-氧代-10*E*,12*Z*-十八碳二烯酸 (**7**)、9-氧代-10*E*,12*E*-十八碳二烯酸 (**8**)、*α*-生育酚 (**9**)、托可醌 (**10**)、*α*-tocospiro A (**11**)、17^3-脱镁叶绿素乙酯 (**12**)、mustakone (**13**), 其中化合物**1**为新化合物, 化合物**2**、**3**、**5**～**8**、**10**～**12**为首次从番荔枝科植物中分离得到, 化合物**4**、**9**和**13**为首次从鹿茸木属植物中分离得到。采用肉汤微量稀释法评价化合物的抗菌活性, 结果发现化合物**2**、**3**、**5**～**7**对耐甲氧西林金葡菌有一定的抑制作用, 最低抑菌浓度 (minimum inhibitory concentration, MIC) 分别为64、128、128、128和128 μg·mL^{-1}; 化合物**13**对新型隐球菌有一定的抑制作用, MIC值为128 μg·mL^{-1}。

关键词: 蕉木; 番荔枝科; 鹿茸木属; 化学成分; 抗菌活性

中图分类号: R284 **文献标识码**: A **文章编号**: 0513-4870(2026)05-1769-08

Chemical constituents from *Meiogyne hainanensis*

LIU Ting-liang[1,2], WANG Tian-tian[3], ZHENG Wen-lin[1,2], WU Jia-zheng[1,2], DU Shi-yun[2], HE Zhen-dan[2], WU Yan[2,4*]

(*1. School of Pharmacy, Shenzhen University Medical School, Shenzhen University, Shenzhen 518060, China; 2. College of Pharmacy, Shenzhen Technology University, Shenzhen 518118, China; 3. School of Pharmacy, Henan University, Kaifeng 475004, China; 4. International Cooperative Laboratory of Traditional Chinese Medicine Modernization and Innovative Drug Development of Ministry of Education (MOE) of China, Jinan University, Guangzhou 510632, China*)

Abstract: Thirteen compounds were isolated from the twigs and leaves of *Meiogyne hainanensis* (Merr.) N. T. Ban by silica gel column chromatography, sephadex LH-20, and preparative HPLC. Their structures were respectively determined as chienhainanin N (**1**), (*S*)-15,16-didehydrocoriolic acid methyl ester (**2**), 13-hydroxy-9*Z*, 11*E*,15*E*-octadecatrienoic acid (**3**), (*S*)-coriolic acid (**4**), 13-oxo-(9*Z*,11*E*)-octadecadienic acid (**5**), 13-oxo-(9*E*,11*E*)-octadecadienic acid (**6**), 9-oxo- (10*E*, 12*Z*) -octadecadienic acid (**7**), 9-oxo- (10*E*, 12*E*) -octadecadienic acid (**8**), *α*-tocopherol (**9**), vitamin E quinone (**10**), *α*-tocospiro A (**11**), 17c-ethoxypheaophorbide A (**12**), mustakone (**13**) by spectral data analysis. Among them, compound **1** is a new compound, compounds **2**, **3**, **5**−**8**, **10**−**12** are isolated from Annonaceae plants for the first time, and compounds **4**, **9** and **13** are isolated from the genus *Meiogyne* for the first time. Their antimicrobial activities were evaluated by the broth microdilution method. Compounds **2**, **3**, **5**−**7** showed weak antimicrobial effect against MRSA with MIC values from 64 to128 μg·mL^{-1}, respectively. Compound **13** showed weak antimicrobial effects against *Cryptococcus neoformans* with the MIC value of 128 μg·mL^{-1}.

收稿日期: 2025-12-01; 修回日期: 2026-01-05.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (82373751); 教育部中药现代化与创新药物研究国际合作联合实验室开放合作课题基金.

*通讯作者 E-mail: wuyan1219@yeah.net

DOI: 10.16438/j.0513-4870.2025-1429

Key words: *Meiogyne hainanensis*; Annonaceae; *Meiogyne*; chemical constituent; antimicrobial activity

蕉木 [*Meiogyne hainanensis* (Merr.) N. T. Ban] 为番荔枝科 (Annonaceae) 鹿茸木属 (*Meiogyne*) 植物, 产于我国海南、广东和广西等省区, 生于山谷水旁密林中[1]。目前, 关于蕉木的化学成分和药理活性研究较少。本课题组在前期的研究中, 从蕉木中分离得到了一系列结构新颖且抗菌活性显著的聚炔类成分[2]。在对该植物化学成分的深入研究中, 进一步从其枝叶的乙醇提取物中分离得到13个化合物, 包括1个聚炔类化合物 (**1**), 7个脂肪酸衍生物 (**2**～**8**), 3个生育酚衍生物 (**9**～**11**), 1个吡啉衍生物 (**12**) 和1个倍半萜类化合物 (**13**), 化合物结构见图1。其中化合物**1**为新化合物, 化合物**2**、**3**、**5**～**8**、**10**～**12**为首次从番荔枝科植物中分离得到, 化合物**4**、**9**和**13**为首次从鹿茸木属植物中分离得到。采用肉汤微量稀释法对分离得到的化合物进行抗菌活性评价, 结果表明化合物**2**、**3**、**5**～**7**对耐甲氧西林金葡菌有一定的抑制作用, 化合物**13**对新型隐球菌有一定的抑制作用。

结果与讨论

1 结构鉴定

化合物**1**为淡黄色油状物, 易溶于氯仿。HR-ESI-MS谱中显示分子离子峰 *m*/*z* 295.205 8 $[M+H]^+$ (计算值为 $C_{21}H_{27}O^+$, 295.205 6), 提示化合物的分子式为 $C_{21}H_{26}O$, 不饱和度为9。UV光谱显示在208 (4.78)、214 (4.85)、240 (3.92)、253 (4.24)、267 (4.43) 和283 (4.33) nm处有最大吸收, 紫外图谱在225～300 nm之间呈锯齿状, 提示化合物**1**为聚炔类化合物[3,4]。^{1}H NMR谱 (表1) 显示有8个双键氢信号 [δ_H 7.29 (1H, d, *J* = 1.8 Hz), 6.27 (1H, dd, *J* = 3.0, 1.8 Hz), 6.03 (1H, dt, *J* = 10.8, 7.5 Hz), 5.97 (1H, d, *J* = 3.0 Hz), 5.81 (1H, ddt, *J* = 17.1, 10.3, 6.5 Hz), 5.50 (1H, d, *J* = 10.8 Hz), 5.05 (1H, dd, *J* = 17.1, 1.8 Hz), 4.99 (1H, dd, *J* = 10.3, 1.8 Hz)] 和9个亚甲基的氢信号 [δ_H 2.61 (2H, t, *J* = 7.6 Hz), 2.44 (2H, m), 2.32 (2H, t, *J* = 7.0 Hz), 2.17 (2H, m), 1.63 (2H, m), 1.55 (2H, m), 1.39 (2H, m), 1.33 (2H,

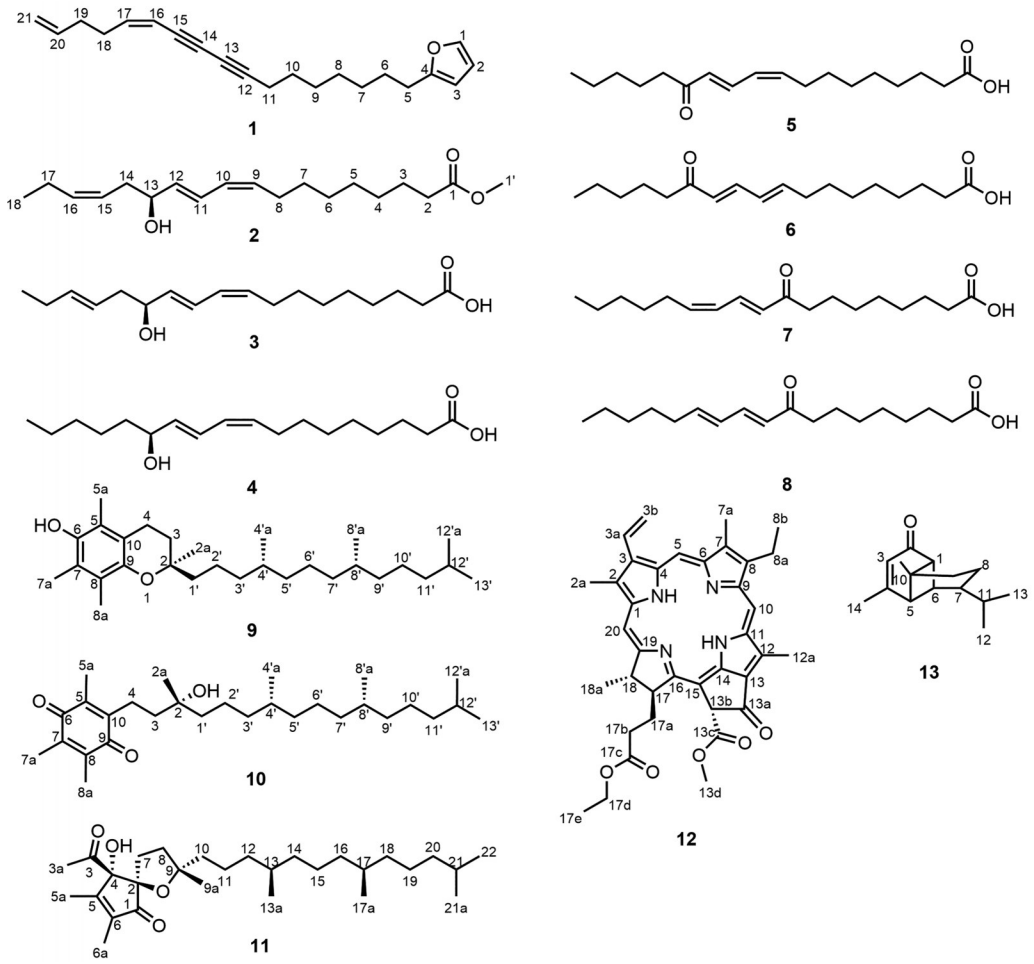


Figure 1 Structures of compounds **1**−**13**

overlap), 1.33 (2H, overlap)]。^{13}C NMR 谱结合 DEPT 谱提示该化合物有 21 个碳信号, 包括: 8 个双键碳信号 (δ_C 156.6, 146.7, 140.8, 137.8, 115.3, 110.2, 108.8, 104.7)、4 个叁键季碳信号 (δ_C 85.2, 78.6, 72.1, 65.3) 和 9 个亚甲基碳信号 (δ_C 33.0, 30.0, 29.1, 29.0, 28.9, 28.4, 28.1, 28.1, 19.7)。通过与文献[2,5]数据比对, 进一步确证化合物 **1** 为聚炔类化合物。^{1}H-^{1}H COSY 谱 (图 2) 中可观察到 H-1 (δ_H 7.29) 至 H-3 (δ_H 5.97)、H-5 (δ_H 2.61) 至 H-11 (δ_H 2.32) 及 H-16 (δ_H 5.50) 至 H-21 (δ_H 5.05/4.99) 的 3 组自旋耦合系统。HMBC 谱 (图 2) 中, 通过 H-1 (δ_H 7.29) 与 C-4 (δ_C 156.6) 相关, H-2 (δ_H 6.27) 与 C-4 (δ_C 156.6) 相关, H-3 (δ_H 5.97) 与 C-1 (δ_C 140.8)、C-2 (δ_C 110.2)、C-4 (δ_C 156.6) 相关, H-5 (δ_H 2.61) 与 C-3 (δ_C 104.7)、C-4 (δ_C 156.6)、C-7 (δ_C 29.1) 相关和 H-6 (δ_H 1.63) 与 C-4 (δ_C 156.6) 相关, 推断 C-5 与 C-4, C-3 与 C-4 相连, 结合 C-1 的化学位移 (140.8)、C-4 的化学位移 (156.6) 和分子式信息可知 C-4 与 C-1 通过氧原子相连形成呋喃环; 通过 H-10 (δ_H 1.55) 与 C-8 (δ_C 29.0)、C-12 (δ_C 85.2) 相关, H-11 (δ_H 2.32) 与 C-9 (δ_C 28.9)、C-12 (δ_C 85.2)、C-13 (δ_C 65.3)、C-14 (δ_C 78.6)、C-15 (δ_C 72.1) 相关和 H-18 (δ_H 2.44) 与 C-15 (δ_C 72.1)、C-16 (δ_C 108.8) 相关, 可知 C-11 与 C-12 相连, C-15 与 C-16 相连。H-16 (δ_H 5.50) 与 H-17 (δ_H 6.03) 之间耦合常数 $J_{16,17}$ = 10.8 Hz, 可知此处双键为顺式结构, 最终确定化合物的结构。综上所述, 化合物 **1** 结构为 (*Z*)-2-(heptadeca-12,16-dien-8,10-diyn-1-yl) furan。经检索, 化合物 **1** 为一未报道的新化合物, 命名为蕉木聚炔 N (chienhainanin N)。

2 抗菌活性评价

采用肉汤微量稀释法测试化合物 **1**～**13** 的抗菌活性, 以 *P. aeruginosa* (ATCC27853)、*E. faecalis* (ATCC29212)、MRSA (ATCC43300)、*C. neoformans* (ATCC32045) 和 *C. albicans* (ATCC10231) 为测试菌株, 万古霉素、环丙沙星和氟康唑为阳性对照药物。结果如表 2, 化合物 **2**、**3**、**5**～**7** 对耐甲氧西林金葡菌有一定的抑制作用, 最低抑菌浓度 (minimum inhibitory concentration, MIC) 分别为 64、128、128、128 和 128 μg·mL^{-1}, 化合物 **13** 对新型隐球菌有一定的抑制作用, MIC 值为 128 μg·mL^{-1}。

3 讨论

本研究从蕉木枝叶中分离鉴定到了 13 个化合物, 其中化合物 **1** 为新化合物, 化合物 **2**、**3**、**5**～**8**、**10**～**12** 为首次从番荔枝科植物中分离得到, 化合物 **4**、**9** 和 **13** 为首次从鹿茸木属植物中分离得到。化合物 **2**、**3**、**5**～**7** 对耐甲氧西林金葡菌有一定的抑制作用, 化合物 **13** 对新型隐球菌有一定的抑制作用。蕉木原归属于番荔枝科蕉木属 (*Chieniodendron*), 近期被修订为番荔枝科鹿茸木属 (*Meiogyne*)。相关研究报道显示[6,7], 鹿茸木属的

Table 1 ^{1}H (400 MHz in $CDCl_3$) and ^{13}C (100 MHz in $CDCl_3$) NMR data of compound **1**

No.	δ_H	δ_C
1	7.29 (1H, d, 1.8)	140.8
2	6.27 (1H, dd, 3.0, 1.8)	110.2
3	5.97 (1H, d, 3.0)	104.7
4		156.6
5	2.61 (2H, t, 7.6)	28.1
6	1.63 (2H, m)	28.1
7	1.33 (2H, overlap)	29.1
8	1.33 (2H, overlap)	29.0
9	1.39 (2H, m)	28.9
10	1.55 (2H, m),	28.4
11	2.32 (2H, t, 7.0)	19.7
12	–	85.2
13	–	65.3
14	–	78.6
15	–	72.1
16	5.50 (1H, d, 10.8)	108.8
17	6.03 (1H, dt, 10.8, 7.5)	146.7
18	2.44 (2H, m)	30.0
19	2.17 (2H, m)	33.0
20	5.81 (1H, ddt, 17.1, 10.3, 6.5)	137.8
21	5.05 (1H, dd, 17.1, 1.8)	115.3
	4.99 (1H, dd, 10.3, 1.8)	

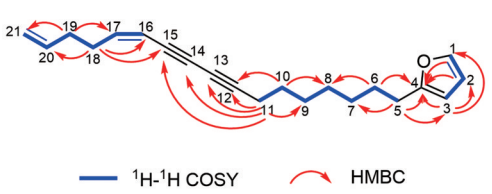


Figure 2 Key HMBC and ^{1}H-^{1}H COSY correlations of compound **1**

Table 2 Antimicrobial activities of compounds **1** – **13** (n = 3). MIC: Minimum inhibitory concentration

Compound	MIC/μg·mL^{-1}				
	P. aeruginosa	*E. faecalis*	MRSA	*C. neoformans*	*C. albicans*
1	> 128	> 128	> 128	> 128	> 128
2	> 128	> 128	64	> 128	> 128
3	> 128	> 128	128	> 128	> 128
4	> 128	> 128	> 128	> 128	> 128
5	> 128	> 128	128	> 128	> 128
6	> 128	> 128	128	> 128	> 128
7	> 128	> 128	128	> 128	> 128
8	> 128	> 128	> 128	> 128	> 128
9	> 128	> 128	> 128	> 128	> 128
10	> 128	> 128	> 128	> 128	> 128
11	> 128	> 128	> 128	> 128	> 128
12	> 128	> 128	> 128	> 128	> 128
13	> 128	> 128	> 128	128	> 128
Ciprofloxacin	0.25	0.5	0.25	–	–
Vancomycin	–	2	1	–	–
Fluconazole	–	–	–	4	4

Meiogyne cylindrocarpa (Burck) Heusden 和 *Meiogyne baillonii* (Guillaumin) Heusden 两种植物中含有多种聚炔类化合物。本课题组在对蕉木的研究中, 也分离得到了多种聚炔类化合物, 这也从化学分类学角度为此次分类修订的正确性提供了佐证。本研究为蕉木的进一步研究和开发利用奠定了物质基础。

实验部分

Bruker Avance 400 型核磁共振仪 (德国 Bruker 公司); 海能 P810 全自动旋光仪 (济南海能仪器股份有限公司); Thermo Scientific Evolution One 紫外−可见分光光度计、Orbitrap Exploris 120 型高分辨质谱仪 (美国 ThermoFisher 公司); Agilent 1260 Infinity II 型/Vanquish Core 型高效液相色谱仪 (美国 Agilent 公司/美国 ThermoFisher 公司); Agilent 1260 Infinity II 型制备型高效液相色谱仪 (美国 Agilent 公司); 通微 EasySep®-3050 型半制备高效液相色谱仪 (上海通微分析技术有限公司); BUCHI Rotavapor R-100 型旋转蒸发仪 (瑞士 BUCHI 公司); BCE224-1CCN 万分之一分析天平 [赛多利斯科学仪器 (北京) 有限公司]; THZ-98AB 型恒温振荡器 (上海一恒科学仪器有限公司); GF_{254} 薄层色谱硅胶板 (烟台银龙硅胶有限公司); 正相柱色谱硅胶 (100～200、200～300 目; 青岛海洋化工公司分厂); ODS 柱色谱填料 (Spherical C18 Monomeric, 120A, 50 μm, 加拿大 SILICYCLE 公司); 凝胶柱色谱填料 (Toyopearl HW-40F, 日本 TOSOH 公司); 分析型 HPLC 色谱柱 (Global Chromatography C18, 250 mm × 4.6 mm, 10 μm, 上海通微分析技术有限公司; Cosmosil 5C18-MS-II, 250 mm × 4.6 mm, 5 μm, 日本 Nacalai Tesque 公司) 和手性 HPLC 色谱柱 (ChromegaChiral CC4, 250 mm × 4.6 mm, 5 μm, 美国 PerkinElmer 公司); 半制备型 HPLC 色谱柱 (Global Chromatography C18, 250 mm × 10 mm, 10 μm, 上海通微分析技术有限公司) 和 (Cosmosil 5C18-MS-II, 250 mm × 10 mm, 5 μm, 日本 Nacalai Tesque 公司); 制备型 HPLC 色谱柱 (Global Chromatography C18, 250 mm × 20 mm, 10 μm, 上海通微分析技术有限公司; Cosmosil 5C18-MS-II, 250 mm × 20 mm, 5 μm, 日本 Nacalai Tesque 公司); 营养琼脂培养基平板和马铃薯葡萄糖琼脂平板 (广东环凯生物科技有限公司); CAMHB 肉汤培养基和 YM 培养基 (青岛海博生物技术有限公司); ATCC29212 粪肠球菌、ATCC43300 金黄色葡萄球菌金黄色亚种、ATCC27853 铜绿假单胞菌、ATCC32045 新型隐球菌和 ATCC10231 白色念珠菌 (合肥万物生物科技有限公司); 环丙沙星、盐酸万古霉素和氟康唑 (上海阿拉丁生化科技股份有限公司, 批号 C129896、V105495 和 E129360)。所用化学试剂均为色谱纯 (安耐吉化学公司) 或分析纯 (成都金山化学试剂有限公司)。

蕉木植物材料于 2023 年 5 月采集于中国云南省昆明市, 经深圳技术大学药学院吴炎副教授鉴定为番荔枝科鹿茸木属植物蕉木 [*Meiogyne hainanensis* (Merr.) N. T. Ban], 植物标本 (No. 2023050001) 保存于深圳技术大学中药标本室。

1 提取分离

蕉木 [*Meiogyne hainanensis* (Merr.) N. T. Ban] 枝叶 53 kg, 粉碎成粗粉, 用 95% 乙醇 80 L 渗漉提取, 合并渗漉液并减压浓缩至无醇味, 得到的总浸膏约 5.5 kg。浸膏用 100～200 目硅胶拌样后依次用石油醚、二氯甲烷、乙酸乙酯洗脱, 得到石油醚萃取部位 350 g、二氯甲烷萃取部位 549 g 和乙酸乙酯萃取部位 574 g。

石油醚萃取物进一步经硅胶柱色谱分离, 以石油醚−乙酸乙酯为洗脱剂 (100∶0～0∶100), 经薄层色谱 (TLC) 分析并合并相似流分, 得到 15 个主流分 Fr.1～Fr.15。流分 Fr.12 (2 g) 经半制备液相 (乙腈−水, 95∶5, 4 mL·min^{-1}) 纯化得到化合物 **10** (t_R = 23 min; 4.3 mg)。

二氯甲烷萃取物进一步经硅胶柱色谱分离, 以石油醚−乙酸乙酯为洗脱剂 (100∶1～0∶100), 得到 24 个主流分 Fr.1～Fr.24。流分 Fr.5 (8 g) 经半制备液相 (甲醇−水, 95∶5, 4 mL·min^{-1}) 纯化得到化合物 **9** (t_R = 39 min; 18.8 mg); 流分 Fr.6 (5 g) 经半制备液相 (甲醇−水, 90∶10, 4 mL·min^{-1}) 纯化得到化合物 **11** (t_R = 49 min; 4.3 mg)。流分 Fr.8 (25 g) 经 Sephadex LH-20 柱 (甲醇) 分离后得到 5 个亚流分 Fr.8A～Fr.8E, 其中流分 Fr.8C (17 g) 经 ODS (甲醇−水, 70∶30～100∶0) 分离, 获得 11 个流分 Fr.8Ca～Fr.8Ck, Fr.8Cb 进一步经半制备液相 (甲醇−水, 60∶40, 4 mL·min^{-1}) 纯化, 得到化合物 **13** (t_R = 30 min; 13.3 mg)。

流分 Fr.15 (38 g) 与 Fr.16 (57 g) 合并后经硅胶柱色谱 (石油醚−乙酸乙酯, 15∶1～1∶1) 分离, 得到 6 个亚流分 Fr.15A～Fr.15F。流分 Fr.15C (5 g) 经制备液相 (乙腈−水, 80∶20, 16 mL·min^{-1}) 分离得到 6 个流分 Fr.15Ca～Fr.15Cf, 流分 Fr.15Cb 经制备液相 (乙腈−水, 65∶35, 16 mL·min^{-1}) 纯化后, 再经半制备液相 (乙腈−水, 50∶50, 4 mL·min^{-1}) 纯化, 得到化合物 **2** (t_R = 39 min; 3.5 mg)。流分 Fr.15D (40 g) 经 ODS (甲醇−水, 40∶60～100∶0) 分离, 得到 20 个流分 Fr.15Da～Fr.15Dt。流分 Fr.15Dm 经制备液相 (乙腈−水, 50∶50, 16 mL·min^{-1}) 纯化, 得到化合物 **3** (t_R = 26 min; 39.7 mg); 流分 Fr.15Dn 经制备液相 (乙腈−水, 55∶45, 16 mL·min^{-1}) 纯化, 得到化合物 **4** (t_R = 27 min; 90.3 mg)、**5** (t_R=35 min; 12.5 mg)、**6** (t_R = 37 min; 11.5 mg)、**7** (t_R = 38 min; 34.7 mg)、**8** (t_R =

43 min; 21.3 mg)。流分 Fr.15Do 经制备液相 (乙腈−水, 55∶45, 16 mL·min^{-1}) 分离得到 7 个流分 Fr.15Do1～Fr.15Do7, 流分 Fr.15Do3 经半制备液相 (乙腈−水, 55∶45, 4 mL·min^{-1}) 纯化得到化合物 **1** (t_R = 38 min; 1.2 mg)。流分 Fr.15E (41 g) 经 ODS (甲醇−水, 70∶30～100∶0) 分离, 得到 8 个流分 Fr.15Ea～Fr.15Eh, Fr.15Eh 经制备液相 (乙腈−水, 95∶5, 16 mL·min^{-1}) 纯化得到化合物 **12** (t_R = 21 min; 29.8 mg)。

2 结构鉴定

化合物 **1** 淡黄色油状物; HR-ESI-MS *m/z* 295.205 8 $[M+H]^+$ (计算值为 $C_{21}H_{27}O^+$, 295.205 6), 分子式: $C_{21}H_{26}O$。UV (CH_3CN) λ_{max} (log ε) 208 (4.78), 214 (4.85), 240 (3.92), 253 (4.24), 267 (4.43), 283 (4.33)。^{1}H NMR ($CDCl_3$, 400 MHz) 和 ^{13}C NMR ($CDCl_3$, 100 MHz) 数据见表 1。

化合物 **2** 淡黄色油状物; $[\alpha]_D^{20}$ +5.50° (*c* 0.350, CH_3OH; 1 g·100 mL^{-1}); HR-ESI-MS *m/z* 309.23 $[M+H]^+$, 分子式: $C_{19}H_{32}O_3$。UV (CH_3OH) λ_{max} (log ε) 192 (3.33), 197 (3.35), 199 (3.29), 235 (3.61); ^{1}H NMR ($CDCl_3$, 400 MHz) δ_H 6.51 (1H, dd, *J* = 15.2, 11.0 Hz, H-11), 5.97 (1H, dd, *J* = 11.0, 10.8 Hz, H-10), 5.69 (1H, dd, *J* = 15.2, 6.4 Hz, H-12), 5.57 (1H, dt, *J* = 10.8, 7.6 Hz, H-16), 5.43 (1H, dt, *J* = 10.8, 7.6 Hz, H-9), 5.36 (1H, dt, *J* = 10.8, 7.6 Hz, H-15), 4.21 (1H, m, H-13), 3.66 (3H, s, H-1′), 2.31 (4H, overlap, H-2, H-14), 2.17 (2H, m, H-8), 2.07 (2H, m, H-17), 1.60 (2H, m, H-3), 1.37 (2H, m, H-7), 1.31 (6H, overlap, H-4, H-5, H-6), 0.97 (3H, t, *J* = 7.5 Hz, H-18); ^{13}C NMR ($CDCl_3$, 100 MHz) δ_C 174.5 (C-1), 34.2 (C-2), 25.0 (C-3), 29.2 (C-4/5/6), 29.2 (C-4/5/6), 29.1 (C-4/5/6), 29.6 (C-7), 27.8 (C-8), 133.0 (C-9), 127.9 (C-10), 126.0 (C-11), 135.2 (C-12), 72.3 (C-13), 35.4 (C-14), 123.9 (C-15), 135.4 (C-16), 20.9 (C-17), 14.4 (C-18), 51.6 (C-1′)。以上波谱数据与文献[8]报道数据基本一致, 故鉴定化合物 **2** 为 (*S*)-15,16-didehydrocoriolic acid methyl ester。

化合物 **3** 淡黄色油状物; $[\alpha]_D^{20}$ +3.51° (*c* 0.993, CH_3OH; 1 g·100 mL^{-1}); HR-ESI-MS *m/z* 293.21 $[M-H]^-$, 分子式: $C_{18}H_{30}O_3$。UV (CH_3OH) λ_{max} (log ε) 192 (3.90), 196 (3.90), 201 (4.05), 234 (4.26)。^{1}H NMR (CD_3OD, 400 MHz) δ_H 6.40 (1H, dd, *J* = 15.2, 11.0 Hz, H-11), 5.87 (1H, dd, *J* = 11.0, 10.8 Hz, H-10), 5.54 (1H, dd, *J* = 15.2, 6.5 Hz, H-12), 5.31 (3H, overlap, H-9, H-15, H-16), δ_H 4.02 (1H, m, H-13), 2.18 (4H, overlap, H-2, H-14), 2.09 (2H, m, H-8), 1.96 (2H, m, H-17), 1.50 (2H, m, H-3), 1.29 (2H, m, H-7), 1.24 (6H, overlap, H-4, H-5, H-6), 0.86 (3H, t, *J* = 7.5 Hz, H-18); ^{13}C NMR (CD_3OD, 100 MHz) δ_C 177.7 (C-1), 34.9 (C-2), 26.0 (C-3), 30.2 (C-4/5/6), 30.2 (C-4/5/6), 30.1 (C-4/5/6), 30.7 (C-7), 28.6 (C-8), 133.0 (C-9), 129.3 (C-10), 126.6 (C-11), 136.6 (C-12), 73.2 (C-13), 36.2 (C-14), 125.5 (C-15), 134.5 (C-16), 21.7 (C-17), 14.6 (C-18)。以上波谱数据与文献[9]报道数据基本一致, 故鉴定化合物 **3** 为 13(*S*)-羟基-9*Z*,11*E*,15*E*-十八碳三烯酸。

化合物 **4** 淡黄色油状物; $[\alpha]_D^{20}$ +1.85° (*c* 1.806, CH_3OH; 1 g·100 mL^{-1}); HR-ESI-MS *m/z* 295.23 $[M-H]^-$, 分子式: $C_{18}H_{32}O_3$。UV (CH_3OH) λ_{max} (log ε) 191 (3.83), 194 (3.82), 196 (3.88), 198 (3.93), 233 (4.34), 277 (2.78)。^{1}H NMR (CD_3OD, 400 MHz) δ_H 6.26 (1H, dd, *J* = 15.2, 11.0 Hz, H-11), 5.75 (1H, dd, *J* = 11.0, 10.8 Hz, H-10), 5.39 (1H, dd, *J* = 15.2, 6.7 Hz, H-12), 5.17 (1H, dt, *J* = 10.8, 7.7 Hz, H-9), 3.85 (1H, m, H-13), 2.04 (2H, t, *J* = 7.4 Hz, H-2), 1.96 (2H, m, H-8), 1.36 (2H, m, H-3), 1.27 (2H, m, H-14), 1.17 (2H, m, H-7), 1.10 (12H, overlap, H-4, H-5, H-6, H-15, H-16, H-17), 0.68 (3H, t, *J* = 7.0 Hz, H-18); ^{13}C NMR (CD_3OD, 100 MHz) δ_C 177.6 (C-1), 34.9 (C-2), 26.0 (C-3), 30.2 (C-4/5/6), 30.2 (C-4/5/6), 30.1 (C-4/5/6), 30.7 (C-7), 28.6 (C-8), 132.8 (C-9), 129.4 (C-10), 126.4 (C-11), 137.3 (C-12), 73.3 (C-13), 38.4 (C-14), 26.3 (C-15), 32.9 (C-16), 23.7 (C-17), 14.5 (C-18)。以上波谱数据与文献[8]报道数据基本一致, 故鉴定化合物 **4** 为 (*S*)-coriolic acid。

化合物 **5** 淡黄色油状物; HR-ESI-MS *m/z* 295.23 $[M+H]^+$, 分子式为: $C_{18}H_{30}O_3$。UV (CH_3OH) λ_{max} (log ε) 191 (3.65), 194 (3.51), 197 (3.47), 199 (3.63), 202 (3.63), 214 (3.56), 280 (3.99)。^{1}H NMR (CD_3OD, 400 MHz) δ_H 7.57 (1H, dd, *J* = 15.2, 11.6 Hz, H-11), 6.20 (2H, overlap, H-10, H-12), 5.97 (1H, dt, *J* = 10.8, 7.6 Hz, H-9), 2.61 (2H, t, *J* = 7.4 Hz, H-14), 2.35 (2H, m, H-8), 2.27 (2H, t, *J* = 7.2 Hz, H-2), 1.60 (4H, overlap, H-3, H-15), 1.46 (2H, m, H-7), 1.34 (10H, overlap, H-4, H-5, H-6, H-16, H-17), 0.91 (3H, t, *J* = 7.2 Hz, H-18); ^{13}C NMR (CD_3OD, 100 MHz) δ_C 177.7 (C-1), 34.9 (C-2), 26.0 (C-3), 30.0 (C-4/5/6), 30.1 (C-4/5/6), 30.1 (C-4/5/6), 30.3 (C-7), 29.1 (C-8), 143.9 (C-9), 128.2 (C-10), 139.0 (C-11), 130.4 (C-12), 203.8 (C-13), 41.5 (C-14), 25.3 (C-15), 32.6 (C-16), 23.5 (C-17), 14.3 (C-18)。以上波谱数据与文献[10,11]报道数据基本一致, 故鉴定化合物 **5** 为 13-氧代-9*Z*,11*E*-十八碳二烯酸。

化合物 **6** 淡黄色油状物; HR-ESI-MS *m/z* 295.23 $[M+H]^+$, 分子式: $C_{18}H_{30}O_3$。UV (CH_3OH) λ_{max} (log ε)

191 (3.67), 194 (3.63), 197 (3.57), 201 (3.70), 214 (3.64), 275 (3.94)。^{1}H NMR (CD_3OD, 400 MHz) δ_H 7.23 (1H, dd, J = 15.6, 9.6 Hz, H-11), 6.27 (2H, overlap, H-9, H-10), 6.12 (1H, d, J = 15.6 Hz, H-12), 2.59 (2H, t, J = 7.4 Hz, H-14), 2.28 (2H, t, J = 7.2 Hz, H-2), 2.21 (2H, m, H-8), 1.60 (4H, overlap, H-3, H-15), 1.47 (2H, m, H-7), 1.34 (10H, overlap, H-4, H-5, H-6, H-16, H-17), 0.91 (3H, t, J = 7.2 Hz, H-18); ^{13}C NMR (CD_3OD, 100 MHz) δ_C 177.7 (C-1), 34.9 (C-2), 26.0 (C-3), 30.1 (C-4), 30.1 (C-5), 30.2 (C-6), 29.8 (C-7), 34.1 (C-8), 147.3 (C-9), 130.3 (C-10), 145.3 (C-11), 128.8 (C-12), 203.9 (C-13), 41.0 (C-14), 25.3 (C-15), 32.6 (C-16), 23.5 (C-17), 14.3 (C-18)。以上波谱数据与文献[12,13]报道数据基本一致, 故鉴定化合物**6**为13-氧代-9*E*,11*E*-十八碳二烯酸。

化合物**7** 淡黄色油状物; HR-ESI-MS m/z 295.23 $[M+H]^+$, 分子式: $C_{18}H_{30}O_3$。UV (CH_3OH) λ_{max} (log ε) 191 (3.57), 194 (3.57), 198 (3.63), 201 (3.73), 214 (3.58), 281 (4.20)。^{1}H NMR (CD_3OD, 400 MHz) δ_H 7.54 (1H, dd, J = 15.2, 11.2 Hz, H-11), 6.17 (2H, overlap, H-10, H-12), 5.94 (1H, dt, J = 10.7, 7.6 Hz, H-13), 2.58 (2H, t, J = 7.3 Hz, H-8), 2.31 (2H, m, H-14), 2.24 (2H, t, J = 7.2 Hz, H-2), 1.57 (4H, overlap, H-3, H-7), 1.42 (2H, m, H-15), 1.30 (10H, overlap, H-4, H-5, H-6, H-16, H-17), 0.88 (3H, t, J = 6.8 Hz, H-18); ^{13}C NMR (CD_3OD, 100 MHz) δ_C 177.6 (C-1), 34.9 (C-2), 26.0 (C-3), 30.1 (C-4), 30.1 (C-5), 30.1 (C-6), 25.5 (C-7), 41.5 (C-8), 203.7 (C-9), 130.4 (C-10), 138.9 (C-11), 128.2 (C-12), 144.0 (C-13), 29.2 (C-14), 30.2 (C-15), 32.5 (C-16), 23.5 (C-17), 14.4 (C-18)。以上波谱数据与文献[10]报道数据基本一致, 故鉴定化合物**7**为9-氧代-10*E*,12*Z*-十八碳二烯酸。

化合物**8** 淡黄色油状物; HR-ESI-MS m/z 295.23 $[M+H]^+$, 分子式: $C_{18}H_{30}O_3$。UV (CH_3OH) λ_{max} (log ε) 191 (3.65), 194 (3.46), 196 (3.59), 199 (3.60), 203 (3.59), 214 (3.53), 275 (4.16)。^{1}H NMR (CD_3OD, 400 MHz) δ_H 7.22 (1H, dd, J = 15.6, 9.2 Hz, H-11), 6.25 (2H, overlap, H-12, H-13), 6.10 (1H, d, J = 15.6 Hz, H-10), 2.58 (2H, t, J = 7.4 Hz, H-8), 2.26 (2H, t, J = 7.4 Hz, H-2), 2.19 (2H, m, H-14), 1.58 (4H, overlap, H-3, H-7), 1.45 (2H, m, H-15), 1.32 (10H, overlap, H-4, H-5, H-6, H-16, H-17), 0.90 (3H, t, J = 6.8 Hz, H-18); ^{13}C NMR (CD_3OD, 100 MHz) δ_C 177.7 (C-1), 35.0 (C-2), 26.0 (C-3), 30.2 (C-4/5/6), 30.2 (C-4/5/6), 30.1 (C-4/5/6), 25.5 (C-7), 41.0 (C-8), 203.8 (C-9), 128.8 (C-10), 145.3 (C-11), 130.2 (C-12), 147.4 (C-13), 34.1 (C-14), 29.5 (C-15), 32.5 (C-16), 23.5 (C-17), 14.4 (C-18)。以上波谱数据与文献[14]报道数据基本一致, 故鉴定化合物**8**为9-氧代-10*E*,12*E*-十八碳二烯酸。

化合物**9** 淡黄色油状物; $[\alpha]_D^{20}$ +1.81° (c 0.710, CH_3OH; 1 g·100 mL^{-1}); HR-ESI-MS m/z 431.38 $[M+H]^+$, 分子式: $C_{29}H_{50}O_2$。UV (CH_3OH) λ_{max} (log ε) 193 (3.78), 205 (4.52), 292 (3.48)。^{1}H NMR ($CDCl_3$, 400 MHz) δ_H 2.61 (2H, t, J = 6.8 Hz, H-4), 2.17 (3H, s, H-7a), 2.12 (3H, s, H-5a), 2.12 (3H, s, H-8a), 1.79 (2H, m, H-3), 1.53 (3H, overlap, H-1′, H-12′), 1.39 (4H, overlap, H-2′, H-4′, H-8′), 1.28 (8H, overlap, H-3′, H-6′, H-9′, H-10′), 1.24 (3H, s, H-2a), 1.15 (2H, m, H-11′), 1.08 (4H, overlap, H-5′, H-7′), 0.88 (3H, d, J = 6.8 Hz, H-12′a), 0.88 (3H, d, J = 6.8 Hz, H-13′), 0.85 (6H, overlap, H-4′a, H-8′a); ^{13}C NMR ($CDCl_3$, 100 MHz) δ_C 74.7 (C-2), 23.9 (C-2a), 31.7 (C-3), 20.9 (C-4), 118.7 (C-5), 11.4 (C-5a), 144.7 (C-6), 121.2 (C-7), 12.3 (C-7a), 122.8 (C-8), 11.9 (C-8a), 145.7 (C-9), 117.5 (C-10), 40.0 (C-1′), 21.2 (C-2′), 37.6 (C-3′), 33.0 (C-4′), 19.9 (C-4′a), 37.6 (C-5′), 24.6 (C-6′), 37.6 (C-7′), 32.9 (C-8′), 19.8 (C- 8′a), 37.4 (C-9′), 24.9 (C-10′), 39.5 (C-11′), 28.1 (C-12′), 22.9 (C-12′a), 22.8 (C-13′)。以上波谱数据与文献[15]报道数据基本一致, 故鉴定化合物**9**为α-生育酚。

化合物**10** 黄色油状物; $[\alpha]_D^{20}$ +1.71° (c 1.374, CH_3OH; 1 g·100 mL^{-1}); HR-ESI-MS m/z 447.38 $[M+H]^+$, 分子式: $C_{29}H_{50}O_3$。UV (CH_3OH) λ_{max} (log ε) 195 (3.76), 202 (4.07), 263 (4.24), 268 (4.25)。^{1}H NMR ($CDCl_3$, 400 MHz) δ_H 2.52 (2H, m, H-2′), 2.00 (3H, s, H-7a), 1.97 (3H, s, H-5a), 1.97 (3H, s, H-8a), 1.47 (5H, overlap, H-3, H-1′, H-12′), 1.35 (4H, overlap, H-4, H-4′, H-8′), 1.25 (8H, overlap, H-3′, H-6′, H-9′, H-10′), 1.21 (3H, s, H-2a), 1.11 (2H, m, H-11′), 1.06 (4H, overlap, H-5′, H-7′), 0.83 (6H, overlap, H-12′a, H-13′), 0.81 (6H, overlap, H-4′a, H-8′a); ^{13}C NMR ($CDCl_3$, 100 MHz) δ_C 72.7 (C-2), 26.7 (C-2a), 40.3 (C-3), 21.5 (C-4), 140.6 (C-5), 12.4 (C-5a), 187.7 (C-6), 140.5 (C-7), 12.0 (C-7a), 140.3 (C-8), 12.4 (C-8a), 187.3 (C-9), 144.6 (C-10), 42.4 (C-1′), 21.4 (C-2′), 37.7 (C-3′), 32.9 (C-4′), 19.8 (C-4′a), 37.5 (C-5′), 24.6 (C-6′), 37.5 (C-7′), 32.9 (C-8′), 19.8 (C-8′a), 37.4 (C-9′), 24.9 (C-10′), 39.5 (C-11′), 28.1 (C-12′), 22.8 (C-12′a), 22.7 (C-13′)。以上波谱数据与文献[16]报道数据基本一致, 故鉴定化合物**10**为托可醌。

化合物**11** 淡黄色油状物; $[\alpha]_D^{20}$ +36.28° (c 0.430, CH_3OH; 1 g·100 mL^{-1}); HR-ESI-MS m/z 463.38 $[M+H]^+$, 分子式: $C_{29}H_{50}O_4$。UV (CH_3OH) λ_{max} (log ε) 192 (3.77),

194 (3.77), 196 (3.77), 199 (3.71), 202 (3.66), 234 (3.95)。^{1}H NMR ($CDCl_3$, 400 MHz) δ_H 2.43 (1H, m, H-7), 2.02 (3H, s, H-3a), 1.90 (1H, m, H-8), 1.83 (3H, s, H-6a), 1.82 (3H, s, H-5a), 1.78 (1H, m, H-7), 1.70 (1H, m, H-8), 1.60 (2H, m, H-10), 1.52 (1H, m, H-21), 1.38 (2H, overlap, H-13, H-17), 1.33 (2H, m, H-11), 1.26 (8H, overlap, H-12, H-15, H-18, H-19), 1.15 (2H, m, H-20), 1.09 (4H, overlap, H-14, H-16), 1.05 (3H, s, H-9a), 0.86 (3H, d, J = 6.8 Hz, H-21a), 0.86 (3H, d, J = 6.8 Hz, H-22), 0.83 (6H, overlap, H-13a, H-17a); ^{13}C NMR ($CDCl_3$, 100 MHz) δ_C 205.1 (C-1), 92.3 (C-2), 207.3 (C-3), 25.0 (C-3a), 89.2 (C-4), 163.2 (C-5), 11.9 (C-5a), 139.5 (C-6), 8.8 (C-6a), 33.0 (C-7), 36.3 (C-8), 87.2 (C-9), 25.6 (C-9a), 41.6 (C-10), 22.6 (C-11), 37.7 (C-12), 33.0 (C-13), 19.9 (C-13a), 37.6 (C-14), 24.9 (C- 15), 37.6 (C-16), 32.9 (C-17), 19.8 (C-17a), 37.4 (C-18), 24.6 (C-19), 39.5 (C-20), 28.1 (C-21), 22.9 (C-21a), 22.8 (C-22)。以上波谱数据与文献[17]报道数据基本一致, 故鉴定化合物**11**为α-tocospiro A。

化合物**12** 黑绿色胶状物; $[\alpha]_D^{20}$ +15.50° (c 0.745, CH_3CN; 1 g·100 mL^{-1}); HR-ESI-MS m/z 621.31 $[M+H]^+$, 分子式: $C_{37}H_{40}O_5N_4$。UV (CH_3CN) λ_{max} (log ε) 193 (4.32), 268 (4.00), 324 (4.16), 408 (4.80)。^{1}H NMR ($CDCl_3$, 400 MHz) δ_H 9.35 (1H, s, H-10), 9.16 (1H, s, H-5), 8.56 (1H, s, H-20), 7.84 (1H, dd, J= 18.0, 11.6 Hz, H-3a), 6.30 (1H, s, H-13b), 6.20 (1H, d, J = 18.0 Hz, H-3b), 6.10 (1H, d, J = 11.6 Hz, H-3b), 4.50 (1H, m, H-18), 4.25 (1H, d, J = 8.0 Hz, H-17), 4.07 (2H, m, H-17d), 3.93 (3H, s, H-13d), 3.66 (3H, s, H-12a), 3.49 (2H, m, H-8a), 3.35 (3H, s, H-2a), 3.06 (3H, s, H-7a), 2.67 (1H, m, H-17a), 2.53 (1H, m, H-17b), 2.36 (1H, m, H-17a), 2.25 (1H, m, H-17b), 1.86 (3H, d, J = 7.2 Hz, H-18a), 1.63 (3H, t, J = 7.2 Hz, H-8b), 1.15 (3H, t, J = 7.2 Hz, H-17e); ^{13}C NMR ($CDCl_3$, 100 MHz) δ_C 142.1 (C-1), 131.9 (C-2), 12.2 (C-2a), 136.2 (C-3), 129.1 (C-3a), 122.7 (C-3b), 136.1 (C-4), 97.5 (C-5), 155.6 (C-6), 136.5 (C-7), 11.2 (C-7a), 145.1 (C-8), 19.4 (C-8a), 17.4 (C-8b), 151.0 (C-9), 104.4 (C-10), 138.0 (C-11), 129.1 (C-12), 12.1 (C-12a), 129.0 (C-13), 189.8 (C-13a), 64.9 (C-13b), 169.8 (C-13c), 53.0 (C-13d), 149.8 (C-14), 105.3 (C-15), 161.4 (C-16), 51.3 (C-17), 30.0 (C-17a), 31.4 (C-17b), 173.1 (C-17c), 60.6 (C-17d), 14.2 (C-17e), 50.3 (C-18), 23.2 (C-18a), 172.3 (C-19), 93.2 (C-20)。以上波谱数据与文献[18]报道数据基本一致, 故鉴定化合物**12**为17^3-脱镁叶绿素乙酯。

化合物**13** 无色油状物; $[\alpha]_D^{20}$ −2.80° (c 0.665, CH_3OH; 1 g·100 mL^{-1}); HR-ESI-MS m/z 219.17 $[M+H]^+$, 分子式: $C_{15}H_{22}O$。UV (CH_3OH) λ_{max} (log ε) 194 (3.34), 196 (3.36), 204 (3.58), 258 (3.53)。^{1}H NMR ($CDCl_3$, 400 MHz) δ_H 5.73 (1H, s, H-3), 2.68 (1H, d, J = 6.8 Hz, H-1), 2.66 (1H, s, H-6), 2.00 (3H, s, H-14), 1.98 (1H, d, J = 6.8 Hz, H-5), 1.87 (1H, m, H-9), 1.73 (3H, overlap, H-7, H-8, H-9), 1.61 (1H, m, H-8), 1.51 (1H, m, H-11), 0.97 (3H, s, H-15), 0.85 (6H, overlap, H-12, H-13); ^{13}C NMR ($CDCl_3$, 100 MHz) δ_C 56.7 (C-1), 204.2 (C-2), 121.5 (C-3), 170.2 (C-4), 56.1 (C-5), 54.6 (C-6), 45.5 (C-7), 22.1 (C-8), 36.8 (C-9), 57.4 (C-10), 31.9 (C-11), 19.6 (C-12), 20.1 (C-13), 20.4 (C-14), 23.8 (C-15)。以上波谱数据与文献[19]报道数据基本一致, 故鉴定化合物**13**为mustakone。

3 抗菌活性测定

化合物的抗菌活性测试参照CLSI相关规定, 采用肉汤微量稀释法[2,20]。

作者贡献: 刘庭亮是本文的第一作者, 负责蕉木化学成分的分离纯化、结构解析和论文初稿撰写; 王甜甜对提取分离和结构鉴定提供了一定帮助; 郑文琳负责抗菌活性测定; 吴嘉正在数据整理方面提供了一定的帮助; 杜世云负责论文的审阅和提出写作的建议; 贺震旦负责论文的审阅和提供必要的科研资源支持; 吴炎负责实验的整体设计与指导工作、提供必要的科研资源支持、指导论文的修改完善和论文的审阅。

利益冲突: 所有作者均声明不存在利益冲突。

References

[1] Editorial Committee of Flora of China. Flora of China (中国植物志) [M]. Beijing: Science Press, 1979: 81.

[2] Liu TL, Guo YP, Zhang CW, et al. Chienhainanins A−L, polyacetylenes from *Chieniodendron hainanense* and their antimicrobial activities [J]. Fitoterapia, 2025, 187: 106937.

[3] Wang YX, Bao JX, Wang R, et al. HPLC-UV guided isolation of anti-inflammatory polyacetylene glucosides from *Carthamus tinctorius* L [J]. Phytochemistry, 2025, 240: 114629.

[4] Chao CH, Juang SH, Chan HH, et al. UV-guided isolation of polyynes and polyenes from the roots of *Codonopsis pilosula* [J]. RSC Adv, 2015, 5: 41324-41331.

[5] Liu ZY, Ge G, Liu TL, et al. Chemical constituents from *Miliusa tenuistipitata* [J]. Acta Pharm Sin (药学学报), 2025, 60: 646-654.

[6] Bousserouel H, Awang K, Guéritte F, et al. Enyne- and enediyne-γ-lactones from the bark of *Meiogyne cylindrocarpa* [J]. Phytochem Lett, 2012, 5: 29-32.

[7] Olivon F, Nothias LF, Dumontet V, et al. Natural inhibitors of the RhoA-p115 complex from the bark of *Meiogyne baillonii* [J]. J Nat Prod, 2018, 81: 1610-1618.

[8] Hanh TT, Hang DT, Van Minh C, et al. Anti-inflammatory effects of fatty acids isolated from *Chromolaena odorata* [J]. Asian Pac J Trop Med, 2011, 4: 760-763.

[9] Zhao YN, Li J, Shi ZC, et al. Chemical constituents from the bark of *Betula pendula* and their chemotaxonomic significance [J]. Biochem Syst Ecol, 2023, 109: 104677.

[10] Feng S, Saw CL, Lee YK, et al. Fungal-stressed germination of black soybeans leads to generation of oxooctadecadienoic acids in addition to glyceollins [J]. J Agric Food Chem, 2007, 55: 8589-8595.

[11] Dufour C, Loonis M. Regio- and stereoselective oxidation of linoleic acid bound to serum albumin: Identification by ESI-mass spectrometry and NMR of the oxidation products [J]. Chem Phys Lipids, 2005, 138: 60-68.

[12] Granica S, Lohwasser U, Jöhrer K, et al. Qualitative and quantitative analyses of secondary metabolites in aerial and subaerial of *Scorzonera hispanica* L. (black salsify) [J]. Food Chem, 2015, 173: 321-331.

[13] Yoshikawa M, Shimada H, Matsuda H, et al. Bioactive constituents of Chinese natural medicines. I. New sesquiterpene ketones with vasorelaxant effect from Chinese moxa, the processed leaves of *Artemisia argyi* Levl. et Vant.: Moxartenone and moxartenolide [J]. Chem Pharm Bull (Tokyo), 1996, 44: 1656-1662.

[14] Wang H, Liu HF, Shu XD, et al. Constituents from *Teucrium quadrifarium* and its HT-22 cells ferroptosis inhibitory activity [J]. Chin Tradit Herb Drugs (中草药), 2024, 55: 30-37.

[15] Seo KH, Lee DY, Nam TG, et al. New tocopherol analogue with radical-scavenging activity from the peels of *Citrus unshiu* Marcovich [J]. J Korean Soc Appl Biol Chem, 2013, 56: 747-750.

[16] Cho JG, Lee DY, Lee JW, et al. Acyclic diterpenoids from the leaves of *Capsicum annuum* [J]. J Korean Soc Appl Biol Chem, 2009, 52: 128-132.

[17] Chiang YM, Kuo YH. Two novel *α*-tocopheroids from the aerial roots of *Ficus microcarpa* [J]. Tetrahedron Lett, 2003, 44: 5125-5128.

[18] Jin PF, Deng ZW, Pei YH, et al. Two phaeophytin type analogues from marine sponge *Dysidea sp.* [J]. Chin Chem Lett, 2005, 16: 209-211.

[19] Metuge JA, Babiaka SB, Mbah JA, et al. Anti-onchocerca metabolites from *Cyperus articulatus*: Isolation, *in vitro* activity and *in silico* ′drug-likeness′ [J]. Nat Prod Bioprospect, 2014, 4: 243-249.

[20] Zheng WL, Li WY, Chen YQ, et al. Chemical constituents from fruit of *Mallotus philippensis* [J]. Chin Tradit Herb Drugs (中草药), 2025, 56: 1888-1895.