

羊角棉中 1 个新的二萜类化合物及其抗真菌活性

张瑞函, 秦文秀, 于 硕, 李 畅, 裴月湖*, 杨异卉*
哈尔滨医科大学药学院, 黑龙江 哈尔滨 150081

摘要: 目的 研究羊角棉 *Alstonia mairei* 枝叶的化学成分及抗真菌活性。方法 采用 MCI、硅胶、羟丙基葡聚糖凝胶及制备高效液相等多种色谱方法进行分离纯化, 利用质谱、核磁共振和 ECD 等谱学方法鉴定化合物结构。采用微量肉汤稀释法测试了部分单体化合物对白色念珠菌 (*Candida albicans* CMCC98001) 和黑曲霉菌 (*Aspergillus niger* R330) 的抗菌活性。结果 从羊角棉枝叶中分离并鉴定了 8 个化合物, 包括 1 个新化合物 *ent*-12-羟基-16-羟甲基阿替烷-3-酮 (1) 以及 7 个已知化合物, 分别为 17-乙酰蛇根精 (2)、1,2,3,4-四氢-1-氧- β -咔啉 (3)、维诺任碱 *N*₄-氧化物 (4)、维诺任碱 (5)、育亨宾 (6)、华北白前醇 (7)、*ent*-16 β ,17-二羟基阿替烷-3-酮 (8)。化合物 1 和 8 对黑曲霉菌的最低抑菌浓度 (minimum inhibitory concentration, MIC) 值分别为 12.5、6.25 $\mu\text{g/mL}$ 。结论 化合物 1 为新的二萜类化合物, 命名为替烷醇酮 A, 化合物 3、7 和 8 是首次从鸡骨常山属植物中分离获得。化合物 1 和 8 对黑曲霉菌有一定的抑制作用。

关键词: 羊角棉; 二萜类化合物; 生物碱类化合物; 抗真菌活性; 替烷醇酮 A; 1,2,3,4-四氢-1-氧- β -咔啉; 华北白前醇; *ent*-16 β ,17-二羟基阿替烷-3-酮

中图分类号: R284.1 文献标志码: A 文章编号: 0253-2670(2026)07-2456-07

DOI: 10.7501/j.issn.0253-2670.2026.07.002

A new diterpene compound from *Alstonia mairei* and its antifungal activity

ZHANG Ruihan, QIN Wenxiu, YU Shuo, LI Chang, PEI Yuehu, YANG Yihui
College of Pharmacy, Harbin Medical University, Harbin 150081, China

Abstract: Objective To investigate the chemical constituents from the twigs and leaves of *Alstonia mairei* and to evaluate their antifungal activity. **Methods** The separation and purification were conducted by a variety of chromatographic separation techniques, including MCI, silica gel, Sephadex LH-20 gel column chromatography, and preparative high-performance liquid chromatography. The chemical structures of the isolated compounds were elucidated by spectroscopic methods, including mass spectrometry, nuclear magnetic resonance, and electronic circular dichroism (ECD). The antifungal activity of the selected compounds was evaluated against *Candida albicans* CMCC98001 and *Aspergillus niger* R330 using the microbroth dilution method. **Results** A total of eight compounds were isolated from the twigs and leaves of *A. mairei*, including one new compound, *ent*-12-hydroxy-16-methylol-atrisane-3-one (1), and seven known compounds, 17-acetylsarpagine (2), 1,2,3,4-tetrahydro-1-oxo- β -carboline (3), vinorine *N*₄-oxide (4), vinorine (5), yohimbine (6), hancockinol (7), *ent*-16 β , 17-dihydroxyatlsan-3-one (8). The MICs of compound 1 and 8 against *A. niger* R330 were 12.5 and 6.25 $\mu\text{g/mL}$, respectively. **Conclusion** Compound 1 is a new diterpenoid named alstomanoid A, and compounds 3, 7 and 8 are isolated from the genus of *A. mairei* for the first time. Compounds 1 and 8 show antifungal effect against *A. niger* R330. **Key words:** *Alstonia mairei* Lévl.; diterpenoid; alkaloids; antifungal activity; alstomanoid A; 1,2,3,4-tetrahydro-1-oxo- β -carboline; hancockinol; *ent*-16 β ,17-dihydroxyatlsan-3-one

羊角棉 *Alstonia mairei* Lévl. 属于夹竹桃科鸡骨常山属植物, 广泛分布于中国四川、贵州和云南省。在民间医学中, 鸡骨常山属植物广泛用于治疗

疟疾、口腔炎、骨折和外伤^[1-2]。鸡骨常山属植物研究显示, 其主要的化学成分有生物碱、萜类和甾醇类^[3]等, 这些代谢产物具有多种生物活性, 如抗菌^[4]、

收稿日期: 2026-01-27

作者简介: 张瑞函, 女, 硕士研究生, 研究方向为天然药物化学。E-mail: ruihanz2000@126.com

*通信作者: 裴月湖, 男, 博士, 博士生导师, 研究方向为天然药物化学。E-mail: peiyueh@vip.163.com

杨异卉, 女, 博士, 博士生导师, 研究方向为天然药物化学。E-mail: yangyihui19790508@sina.com

抗肿瘤^[5]、抗炎^[6]和降血糖^[7]等活性。然而,目前关于该属植物羊角棉的研究报道很少,仅有研究指出其主要成分为单萜吲哚类生物碱^[2,5,8]。为了进一步阐明羊角棉的化学成分,本研究进行了系统的分离与鉴定工作。从羊角棉的枝叶中分离出8个化合物(图1),分别鉴定为 *ent*-12-羟基-16-羟甲基阿替烷-3-酮 (*ent*-12-hydroxy-16-methylol-atysane-3-one, **1**)、17-乙酰蛇根精 (17-acetylsarpagine, **2**)、1,2,3,4-四

氢-1-氧-β-咔啉 (1,2,3,4-tetrahydro-1-oxo-β-carboline, **3**)、维诺任碱 *N*₄-氧化物 (alstoyunine E, **4**)、维诺任碱 (vinorine, **5**)、育亨宾 (yohimbine, **6**)、华北白前醇 (hancockinol, **7**)、*ent*-16β,17-二羟基阿替烷-3-酮 (*ent*-16β,17-dihydroxyatlsan-3-one, **8**)。其中化合物 **1** 为新化合物,命名为替烷醇酮 A。抗菌活性结果显示,化合物 **1** 和 **8** 对黑曲霉菌有一定的抑制作用。

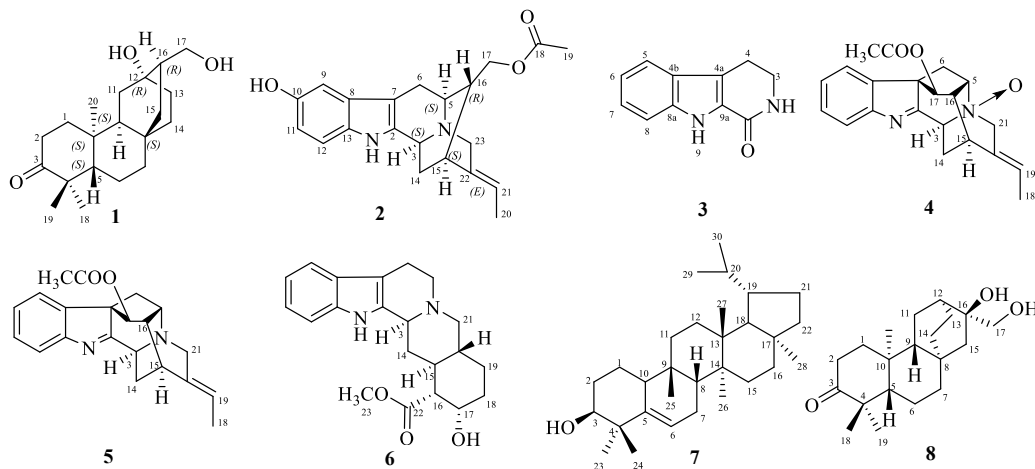


图1 化合物1~8的结构

Fig. 1 Chemical structures of compounds 1–8

1 仪器与材料

核磁共振波谱仪/AV-600/AV-500/AV-400 (瑞士 Bruker 公司); 高分辨质谱仪/Waters Vion IMS QTof (美国 Waters 公司); 低分辨质谱仪/Waters ACQUITY QDa (美国 Waters 公司); 高效液相色谱仪/LC-20A 与 LC-20R (日本 SHIMADZU 公司); 全自动旋光仪/SAC-i (日本 ATAGO 公司); DL-CJ-2NDI-820W 型洁净工作台 (北京东联哈尔仪器有限公司); ZHWY-2102-1300W 型恒温培养振荡器 (上海智城分析仪器制造有限公司); GLSO-型立式自动压力蒸汽灭菌器 (厦门致微仪器有限公司)。

硅胶 (200~300、300~400 目, 青岛海洋化工有限公司); ODS (日本 YMS 公司); Sephadex LH-20 (美国 Pharmacia 公司); HW-40 (日本 TOSOH 公司); Cosmosil 5C₁₈-MS-II 高效液相分析柱及制备柱 (日本 Nacalai Tesque 公司); 有机试剂 (天津市富宇精细化工有限公司); 色谱纯甲醇 (河北百灵威超精细材料有限公司); PDA 培养基 (马铃薯 200 g、葡萄糖 20 g、琼脂 20 g、水 1 000 mL, 北京奥博星生物技术有限责任公司); PDB 培养基 (马铃薯 5 g、葡萄糖 15 g、蛋白胨 10 g、氯化钠 5 g, 北

京奥博星生物技术有限责任公司); 卡泊芬净 (美国 GLPbio 公司, 批号 4); 白色念珠菌 (*Candida albicans* CMCC98001)、黑曲霉菌 (*Aspergillus niger* R330) 均购自北京睿博兴科生物技术有限公司。

植物样品采自中国云南省漾濞县, 由哈尔滨医科大学杨异卉副教授鉴定为鸡骨常山属植物羊角棉 *A. mairei* Lévl., 凭证标本 (AM20210413) 存于哈尔滨医科大学药学院 610 实验室。

2 方法

2.1 提取与分离

羊角棉枝叶药材 50 kg 充分浸润于 95% 的乙醇溶液, 加热回流提取 (2 h×3), 将提取液减压浓缩后合并, 干燥, 得到提取物 (2.6 kg)。利用 MCI 柱色谱对提取物进行初步分离, 以乙醇-水梯度洗脱, 其中得到 90% 乙醇洗脱流分 110.0 g, 后续对该流分的化学成分进行分离。首先, 使用硅胶柱色谱 (二氯甲烷-甲醇 99:1→5:1) 进行分离, 得到 11 个组分 Fr. 1~11。而后继续采用硅胶柱色谱对 Fr. 3 (0.5 g) 进行分离, 石油醚-醋酸乙酯梯度洗脱, 其中 Fr.3D 进一步通过 Sephadex LH-20 柱色谱纯化 (二氯甲烷-甲醇 7:3), 获得化合物 **7** (4 mg)。Fr.

8 (9.5 g) 通过 ODS 柱色谱分离, 甲醇-水 (10 : 90→100 : 1) 梯度洗脱, 得到亚组分 Fr. 8A~8N。其中 Fr. 8G 通过 HW40 柱色谱 (甲醇-水 35 : 65) 和高效液相色谱 (甲醇-水 40 : 60) 制备后得到化合物 **3** (3.7 mg); Fr. 8L 利用 HW 40 柱色谱分离, 甲醇-水系统进行梯度洗脱, 其中 Fr. 8L2 再进一步通过硅胶柱色谱纯化, 石油醚-醋酸乙酯 (10 : 1) 进行梯度洗脱, 得到化合物 **1** (10.9 mg); Fr. 8N 经 HW 40 (甲醇-水 70 : 30) 以及 Sephadex LH-20 (甲醇) 柱色谱纯化, 得到化合物 **8** (3.8 mg)。Fr. 9 依次利用 HW40 (甲醇-水 10 : 90)、ODS 柱色谱 (甲醇-水 20 : 80) 以及高效液相色谱 (甲醇-水 65 : 35) 分离纯化, 得化合物 **4** (1.8 mg) 和 **5** (71.4 mg)。采用 ODS 柱色谱对 Fr. 11 (9.2 g) 进行分离, 甲醇-水 (35 : 65) 系统进行梯度洗脱, 其中 Fr. 11D 进一步通过 Sephadex LH-20 柱色谱 (甲醇) 纯化, 获得化合物 **2** (3.0 mg) 和 **6** (5.7 mg)。

2.2 抗菌活性测定

经过初筛之后, 采用二倍稀释法^[9]在 96 孔板中测定化合物 **1~4** 和 **8** 对黑曲霉菌和白色念珠菌的抗真菌活性。将供试菌株分别接种于马铃薯葡萄糖琼脂 (potato dextrose agar, PDA) 培养基, 于 28 °C 活化培养 24 h。随后刮取适量菌体, 转接至新鲜沙氏液体培养基中, 并将菌液浓度调整至 0.5 麦氏比浊标准。将调整后的菌液稀释 1×10^3 倍, 制得终浓度为 $2 \times 10^5 \sim 4 \times 10^5$ CFU/mL 的菌悬液备用。以卡泊芬净为阳性对照, DMSO 为阴性对照。待测化合物及阳性对照药均先用 DMSO 溶解, 配制成 1 mg/mL 的母液, 再用上述菌悬液在 96 孔板中进行 2 倍系列稀释, 得到质量浓度为 0.39~50.0 $\mu\text{g/mL}$ 的含药菌悬液。最终, 白色念珠菌测试组于 24 h 读取各个化合物的最低抑菌浓度 (minimum inhibitory concentration, MIC), 黑曲霉菌测试组于 48 h 读取 MIC。

3 结果

3.1 结构鉴定

化合物 **1**: 白色粉末; $[\alpha]_D^{27} -111.3$ (c 3.00, CH_2Cl_2); IR $\nu_{\text{max}}^{\text{KBr}}$ (cm^{-1}): 3 402, 2 929, 2 856, 1 702, 1 457; HR-ESI-MS 显示准分子离子峰 m/z 343.225 0 [$\text{M} + \text{Na}$]⁺ (计算值 343.224 9 $\text{C}_{20}\text{H}_{32}\text{O}_3\text{Na}^+$), 结合 ^{13}C -NMR 谱确定其分子式为 $\text{C}_{20}\text{H}_{32}\text{O}_3$, 提示化合物不饱和度为 5。 ^1H -NMR (500 MHz, CDCl_3) 谱 (表 1) 显示, 在 δ_{H} 1.08 (3H, s)、1.07 (3H, s) 和 1.02 (3H,

表 1 化合物 **1** 的 ^1H 和 ^{13}C -NMR 数据 (500/125 MHz, CDCl_3)

Table 1 ^1H - and ^{13}C -NMR data for compound **1** (500/125 MHz, CDCl_3)

碳位	δ_{H}	δ_{C}
1	2.04 (1H, m), 1.44 (1H, m)	39.4
2	2.49 (2H, dd, $J = 8.7, 6.3$ Hz)	34.2
3		218.4
4		47.3
5	1.43 (1H, m)	54.4
6	2.03 (1H, m), 1.62 (1H, m)	19.4
7	1.81 (1H, m), 1.56 (1H, m)	26.7
8		43.4
9	1.21 (1H, d, $J = 8.6$ Hz)	55.7
10		38.6
11	1.95 (1H, m), 1.05 (1H, m)	38.0
12		79.8
13	1.45 (2H, m)	41.0
14	1.48 (1H, m), 1.44 (1H, m)	21.3
15	2.11 (1H, dd, $J = 7.6, 3.7$ Hz), 1.45 (1H, m)	40.8
16	1.45 (1H, m)	52.3
17	3.49 (1H, d, $J = 10.8$ Hz), 3.41 (1H, d, $J = 10.8$ Hz)	69.9
18	1.02 (3H, s)	21.1
19	1.07 (3H, s)	27.4
20	1.08 (3H, s)	17.8

s) 处有 3 个甲基质子信号。 ^{13}C -NMR (125 MHz, CDCl_3) 谱 (表 1) 显示 20 个碳信号, 包括 δ_{C} 218.4 (C-3) 的羰基碳信号, δ_{C} 79.8 (C-12) 和 69.9 (C-17) 的连氧碳信号以及 δ_{C} 27.4 (C-19)、21.1 (C-18) 和 17.8 (C-20) 的甲基碳信号。结合 HMBC、HSQC 和 ^1H - ^1H COSY 二维核磁共振光谱图提供的信息 (图 2), 推测化合物 **1** 为二萜类化合物。

在 HMBC 谱 (图 2) 中, H-17 (δ_{H} 3.49, 3.41) 与 C-12 (δ_{C} 79.8)、C-16 (δ_{C} 52.3) 和 C-15 (δ_{C} 40.8) 相关, 由此可以推断 C-16 连接 $-\text{CH}_2\text{OH}$ 。H-11 (δ_{H} 1.95) 和 H-16 (δ_{H} 1.45) 分别与 C-12 (δ_{C} 79.8) 相关, 说明 C-12 连有羟基; H-2 (δ_{H} 2.49)、H-1 (δ_{H} 2.04, 1.44)、19- CH_3 (δ_{H} 1.07) 和 18- CH_3 (δ_{H} 1.02) 均与 C-3 (δ_{C} 218.4) 存在相关信号, 表明 C-3 为羰基碳。综合以上信息, 化合物 **1** 的平面结构被确定。

通过化学位移分析和 NOESY 谱 (图 3) 确定化合物 **1** 的相对构型。该类型二萜 A/B 环的耦合方式可以通过分析 H-5 和 H-20 (C-10 位的角甲基)

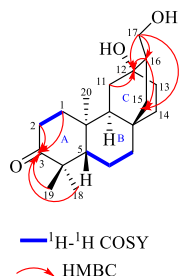


图2 化合物1的主要¹H-¹H COSY和HMBC相关
Fig. 2 Key ¹H-¹H COSY and HMBC correlations of compound 1

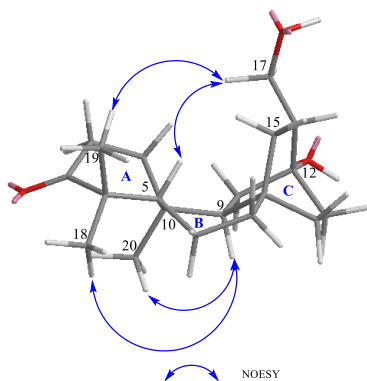


图3 化合物1的主要NOESY相关

Fig. 3 Key NOESY correlations of compound 1

的化学位移值来确定。当A/B环成反式耦合，H-5的化学位移通常在 δ 1.00~2.00，10-CH₃通常在 δ 0.70~1.20；当A/B环成顺式耦合，即H-5和10-CH₃为顺式构型，由于空间挤压作用使氢信号均向低场位移，H-5信号出现在 δ 2.50~3.00，10-CH₃信号出现在 δ 1.50~1.80。化合物1的¹H-NMR谱显示H-5的化学位移为1.43，10-CH₃的化学位移为1.08，故推测A/B环为反式耦合。此外，由于多环分子骨架的刚性结构，使得C-8—C-15与C-12—C-16两个碳碳键的空间取向应为C环的同一侧。NOESY谱中H-9分别与H-18和H-20相关，表明H-9、4 α -CH₃与10-CH₃在环的同一侧。另外，NOESY谱中H-17分别与H-5和H-19有相关，表明H-5与4 β -CH₃在环的同一侧。综合上述信息，可以进一步确定A/B环和B/C环均是反式耦合，并且也可以确定C-16上-CH₂OH的空间取向（图3）。

在化合物1相对构型确定的基础上，运用环己酮的八区律（Octant Rule）对该化合物圆二色谱图进行分析，可以确定C-5位的绝对构型。在ECD谱图（图4）中，环己酮羰基（C-3）的 $n \rightarrow \pi^*$ 跃迁在297 nm处产生负Cotton效应，据此可以判断C-5位

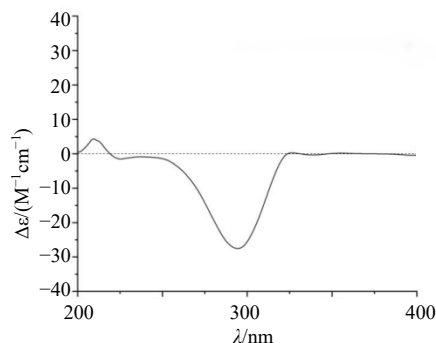


图4 化合物1的ECD谱图

Fig. 4 ECD spectrum of compound 1

的绝对构型为S构型^[10]。最终，化合物1的绝对构型确定为5S,8S,9S,10S,12R,16R，命名为替烷醇酮。

化合物2：淡黄色粉末，遇碘化铋钾试剂呈现橙红色斑点，提示其为1个生物碱类化合物。HR-ESI-MS m/z : 353.186 9 [M+H]⁺（计算值353.186 5 C₂₁H₂₄N₂O₃H⁺），分子式为C₂₁H₂₄N₂O₃。¹H-NMR (600 MHz, CD₃OD) δ : 7.13 (1H, d, J = 8.6 Hz, H-12), 6.80 (1H, d, J = 2.4 Hz, H-9), 6.65 (1H, dd, J = 8.6, 2.4 Hz, H-11), 5.54 (1H, q, J = 7.2 Hz, H-21), 4.32 (1H, d, J = 10.0 Hz, H-3), 4.08 (1H, dd, J = 10.9, 6.1 Hz, H-17a), 3.94 (1H, dd, J = 10.9, 8.9 Hz, H-17b), 3.74 (1H, m, H-23a), 3.66 (1H, d, J = 16.9 Hz, H-23b), 3.00 (1H, t, J = 6.5 Hz, H-5), 2.67 (1H, d, J = 15.2 Hz, H-6a), 3.04 (1H, dd, J = 15.2, 5.4 Hz, H-6b), 2.89 (1H, m, H-15), 2.18 (1H, m, H-14a), 2.09 (1H, q, J = 7.7 Hz, H-16), 2.03 (3H, s, H-19), 1.84 (1H, dt, J = 12.8, 3.1 Hz, H-14b), 1.63 (3H, d, J = 6.8 Hz, H-20); ¹³C-NMR (100 MHz, CD₃OD) δ : 172.8 (C-18), 151.5 (C-10), 138.2 (C-2), 133.2 (C-22), 133.1 (C-13), 129.2 (C-8), 119.7 (C-21), 112.5 (C-11), 112.2 (C-12), 103.3 (C-7), 103.2 (C-9), 66.9 (C-17), 56.3 (C-23), 56.2 (C-5), 52.0 (C-3), 41.8 (C-16), 33.8 (C-14), 28.6 (C-15), 27.2 (C-6), 20.7 (C-19), 13.0 (C-20)。上述数据与文献报道基本一致^[11]，推测该化合物为17-乙酰蛇根精。

化合物3：白色晶体（二氯甲烷），遇碘化铋钾试剂呈现橙红色斑点，提示其为1个生物碱类化合物。ESI-MS m/z : 187 [M+H]⁺，分子式C₁₁H₁₀N₂O；¹H-NMR (400 MHz, CDCl₃) δ : 9.77 (1H, brs, H-9), 7.47 (1H, d, J = 8.3 Hz, H-8), 7.60 (1H, d, J = 7.7 Hz, H-5), 7.31 (1H, t, J = 7.7 Hz, H-7), 7.15 (1H, t, J = 7.5 Hz, H-6), 6.11 (1H, brs, H-2), 3.72 (2H, td, J = 7.0, 2.6 Hz, H-3), 3.06 (2H, t, J = 7.0 Hz, H-4); ¹³C-NMR (100

MHz, CDCl₃) δ : 163.4 (C-1), 137.5 (C-8a), 126.5 (C-9a), 125.5 (C-4b), 125.3 (C-7), 120.5 (C-6), 120.4 (C-5), 120.0 (C-4a), 112.7 (C-8), 42.4 (C-3), 21.0 (C-4)。上述数据与文献报道基本一致^[12], 推测该化合物为1,2,3,4-四氢-1-氧- β -咔啉。

化合物 4: 无色油状物, 遇碘化铋钾试剂呈现橙红色斑点, 提示其为 1 个生物碱类化合物。ESI-MS m/z : 351 [M+H]⁺, 分子式 C₂₁H₂₂N₂O₃; ¹H-NMR (600 MHz, CD₃OD) δ : 7.63 (1H, d, J = 8.0 Hz, H-9), 7.34 (1H, td, J = 7.6, 1.2 Hz, H-10), 7.47 (1H, td, J = 7.7, 1.2 Hz, H-11), 7.62 (1H, d, J = 7.7 Hz, H-12), 5.54 (1H, q, J = 7.0 Hz, H-19), 5.00 (1H, d, J = 1.5 Hz, H-17), 4.52 (1H, d, J = 10.4 Hz, H-3), 4.49 (1H, dt, J = 15.0, 2.4 Hz, H-21a), 3.98 (1H, t, J = 5.2 Hz, H-5), 3.90 (1H, d, J = 15.0 Hz, H-21b), 3.43 (1H, t, J = 5.3 Hz, H-15), 2.94 (1H, t, J = 6.4 Hz, H-16), 2.61 (1H, d, J = 12.0 Hz, H-6a), 2.86 (1H, dd, J = 12.0, 4.5 Hz, H-6b), 2.54 (1H, dd, J = 14.5, 10.1 Hz, H-14a), 2.25 (1H, dd, J = 14.5, 5.3 Hz, H-14b), 1.74 (3H, d, J = 7.0 Hz, H-18); ¹³C-NMR (100 MHz, CD₃OD) δ : 180.3 (C-2), 171.7 (C-22), 156.7 (C-13), 136.5 (C-8), 132.6 (C-20), 130.3 (C-11), 127.8 (C-10), 125.5 (C-9), 122.1 (C-12), 120.9 (C-19), 77.7 (C-17), 74.6 (C-5), 73.9 (C-3), 70.4 (C-21), 65.1 (C-7), 50.3 (C-16), 33.5 (C-6), 29.0 (C-14), 28.0 (C-15), 20.8 (C-23), 12.7 (C-18)。上述数据与文献报道基本一致^[13], 推测该化合物为维诺任碱 N₄-氧化物。

化合物 5: 白色粉末, 遇碘化铋钾试剂呈现橙红色斑点, 提示其为 1 个生物碱类化合物。ESI-MS m/z : 335 [M+H]⁺, 分子式 C₂₁H₂₂N₂O₂; ¹H-NMR (400 MHz, CD₃OD) δ : 7.56 (1H, d, J = 7.6 Hz, H-9), 7.39 (1H, td, J = 7.6, 1.2 Hz, H-10), 7.27 (1H, td, J = 7.6, 1.2 Hz, H-11), 7.54 (1H, d, J = 7.6 Hz, H-12), 5.38 (1H, q, J = 6.9 Hz, H-19), 5.04 (1H, d, J = 1.4 Hz, H-17), 4.20 (1H, dd, J = 7.9, 3.1 Hz, H-3), 3.55~3.43 (2H, m, H-21), 3.31 (1H, m, H-5), 3.29 (1H, m, H-15), 2.84 (1H, dd, J = 12.1, 4.8 Hz, H-6a), 1.67 (3H, d, J = 6.9 Hz, H-18), 1.59 (1H, d, J = 12.1 Hz, H-6b), 2.52 (1H, t, J = 6.3 Hz, H-16), 2.16 (3H, s, H-23), 1.98 (2H, m, H-14); ¹³C-NMR (150 MHz, CD₃OD) δ : 185.3 (C-2), 171.6 (C-22), 156.7 (C-13), 138.1 (C-20), 137.5 (C-8), 129.9 (C-11), 127.3 (C-10), 125.4 (C-9), 121.4 (C-12), 117.3 (C-19), 78.5 (C-17), 65.7 (C-7), 59.2 (C-3), 57.1

(C-5), 54.5 (C-21), 50.0 (C-16), 38.0 (C-6), 28.5 (C-15), 26.8 (C-14), 20.9 (C-23), 13.0 (C-18)。上述数据与文献报道基本一致^[14], 推测该化合物为维诺任碱。

化合物 6: 黄色粉末, 遇碘化铋钾试剂呈现橙红色斑点, 提示其为 1 个生物碱类化合物。ESI-MS m/z : 355 [M+H]⁺, 分子式 C₂₁H₂₆N₂O₃; ¹H-NMR (500 MHz, CDCl₃) δ : 7.80 (1H, s, -NH), 7.46 (1H, d, J = 7.8 Hz, H-9), 7.31 (1H, d, J = 7.8 Hz, H-12), 7.13 (1H, t, J = 7.3 Hz, H-11), 7.08 (1H, t, J = 7.3 Hz, H-10), 4.21 (1H, s, H-17), 3.81 (3H, s, H-23), 3.36 (1H, d, J = 10.0 Hz, H-3), 3.21~3.06 (2H, m, H-14), 3.07 (1H, m, H-5a), 3.04~2.84 (1H, m, H-6b), 2.96 (1H, m, H-21a), 2.84 (1H, m, H-21b), 2.74 (1H, m, H-6a), 2.63 (1H, m, H-5b), 2.79~2.61 (1H, m, H-16), 2.36~2.20 (2H, m, H-18a, 19b), 2.30 (1H, m, H-15), 2.02 (1H, m, H-20), 1.58~1.35 (2H, m, H-18b, 19a); ¹³C-NMR (125 MHz, CDCl₃) δ : 175.8 (C-22), 136.1 (C-13), 127.5 (C-8), 121.6 (C-11), 119.6 (C-10), 118.3 (C-9), 110.9 (C-12), 108.5 (C-7), 67.1 (C-17), 61.4 (C-21), 60.0 (C-3), 53.1 (C-5), 52.5 (C-16), 52.1 (C-23), 40.9 (C-20), 36.8 (C-15), 34.4 (C-14), 29.9 (C-18), 23.5 (C-19), 21.8 (C-6)。上述数据与文献报道基本一致^[15], 推测该化合物为育亨宾。

化合物 7: 无色结晶 (二氯甲烷)。ESI-MS m/z : 427 [M+H]⁺, 分子式 C₃₀H₅₀O; ¹H-NMR (500 MHz, CDCl₃) δ : 5.44 (1H, d, J = 6.3 Hz, H-6), 3.48 (1H, t, J = 2.8 Hz, H-3), 2.35 (1H, d, J = 12.2 Hz, H-10), 2.26 (1H, ddd, J = 18.8, 5.7, 2.6 Hz, H-7a), 2.01 (1H, dd, J = 18.8, 5.7 Hz, H-7b), 1.91 (1H, ddt, J = 14.0, 4.1, 2.3 Hz, H-2a), 1.78 (1H, m, H-22b), 1.69 (1H, m, H-2b), 1.67 (1H, m, H-21b), 1.62 (1H, m, H-12a), 1.59 (1H, m, H-1b), 1.57 (1H, m, H-19), 1.49 (2H, m, H-16), 1.49 (1H, m, H-20), 1.48 (1H, m, H-8), 1.45 (1H, m, H-18), 1.44 (1H, m, H-21a), 1.42 (1H, m, H-1a), 1.36 (1H, m, H-12b), 1.25 (2H, m, H-15), 1.25 (1H, m, H-22a), 1.13 (2H, m, H-11), 1.13 (3H, s, H-24), 1.05 (3H, s, H-23), 0.93 (3H, s, H-28), 0.91 (3H, d, J = 6.0 Hz, H-30), 0.90 (3H, s, H-25), 0.89 (3H, s, H-27), 0.87 (3H, d, J = 6.8 Hz, H-29), 0.80 (3H, s, H-26); ¹³C-NMR (125 MHz, CDCl₃) δ : 140.8 (C-5), 121.7 (C-6), 76.8 (C-3), 54.6 (C-18), 48.4 (C-19), 44.7 (C-8), 42.6 (C-22), 41.5 (C-4), 40.1 (C-17), 39.8 (C-14), 39.4 (C-13), 37.4 (C-10), 36.1 (C-20), 34.7 (C-9), 33.5 (C-28), 32.8 (C-16), 30.9

(C-12), 30.8 (C-11), 29.5 (C-15), 29.0 (C-25), 28.9 (C-2), 28.0 (C-21), 27.4 (C-23), 25.6 (C-24), 23.6 (C-30), 22.8 (C-7), 21.5 (C-29), 21.0 (C-1), 16.9 (C-27), 15.5 (C-26)。上述数据与文献报道基本一致^[16], 推测该化合物为华北白前醇。

化合物 **8**: 黄色粉末。ESI-MS m/z : 321 [M+H]⁺, 分子式 C₂₀H₃₂O₃; ¹H-NMR (600 MHz, CDCl₃) δ: 3.58 (1H, d, J = 11.0 Hz, H-17a), 3.44 (1H, d, J = 11.0 Hz, H-17b), 2.58 (1H, ddd, J = 16.0, 12.3, 6.5 Hz, H-2a), 2.34 (1H, ddd, J = 16.0, 6.5, 3.2 Hz, H-2b), 2.06~1.99 (1H, m, H-11a), 1.91~1.80 (3H, m, H-1a, 12, 14a), 1.62 (1H, m, H-13a), 1.51 (1H, m, H-13b), 1.46 (2H, m, H-6), 1.41 (1H, m, H-7a), 1.37 (1H, m, H-1b), 1.33 (1H, m, H-9), 1.31 (1H, dd, J = 12.0, 2.3 Hz, H-5), 1.24 (2H, m, H-11b, 15a), 1.18 (1H, m, H-7b), 1.12 (1H, m, H-15b), 1.11 (3H, s, H-18), 1.04 (3H, s, H-19), 1.08 (3H, s, H-20), 0.82 (1H, td, J = 12.5, 6.4 Hz, H-14b); ¹³C-NMR (100 MHz, CDCl₃) δ: 217.5 (C-3), 74.2 (C-16), 69.2 (C-17), 55.8 (C-5), 52.7 (C-9), 51.0 (C-15), 47.8 (C-4), 38.9 (C-8), 38.2 (C-13), 37.4 (C-7), 34.2 (C-1), 33.1 (C-10), 32.3 (C-14), 27.3 (C-2), 26.3 (C-18), 23.4 (C-12), 23.1 (C-6), 21.7 (C-19), 19.8 (C-11), 13.6 (C-20)。上述数据与文献报道基本一致^[17], 推测该化合物为 *ent*-16β,17-二羟基阿替烷-3-酮。

3.2 抗菌作用

采用微量肉汤稀释法测试化合物 **1~4** 和 **8** 的抗菌活性, 以白色念珠菌 (*C. albicans* CMCC98001) 和黑曲霉菌 (*A. niger* R330) 为测试菌株, 卡泊芬净为阳性对照, 结果见表 2, 化合物 **1** 和 **8** 对黑曲霉菌有一定抑制作用, MIC 值分别为 12.5、6.25 μg/mL。

4 讨论

从羊角棉的枝叶中分离获得 1 个新的二萜化合

表 2 化合物的抗菌活性 ($n = 3$)

Table 2 Antifungal activities of compounds ($n = 3$)

化合物	MIC/(μg·mL ⁻¹)	
	<i>C. Albicans</i> CMCC98001	<i>A. Niger</i> R330
1	50.0	12.5
2	50.0	50.0
3	50.0	>50.0
4	50.0	25.0
8	50.0	6.25
卡泊芬净	12.5	6.25

物 alstomanoid A 以及 7 个已知化合物, 已知化合物中 **3**、**7** 和 **8** 是首次从鸡骨常山属植物中分离鉴定。化合物 **2~6** 为吲哚类生物碱, 化合物 **1**、**7** 和 **8** 为萜类成分。值得注意的是, 分离所得的 2 个二萜类化合物 **1** 和 **8** 均对黑曲霉菌展现了一定程度的抑制活性。上述研究结果进一步完善了羊角棉的化学成分谱, 更为该植物中活性成分的后续开发与利用提供了实验依据。

尽管如此, 本研究仍存在一定局限性。目前所得活性数据主要源于体外实验, 化合物 **1** 和 **8** 的体内抗真菌效果、代谢行为及潜在毒性尚不明确, 其作用机制也有待深入探究。后续研究可以围绕活性化合物开展结构修饰与构效关系研究, 探索其成药性及作用机制, 以期抗真菌新药的研发提供更全面的实验依据。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

- [1] Wang C M, Yeh K L, Tsai S J, *et al.* Anti-proliferative activity of triterpenoids and sterols isolated from *Alstonia scholaris* against non-small-cell lung carcinoma cells [J]. *Molecules*, 2017, 22(12): 2119.
- [2] Mohammed A E, Abdul-Hameed Z H, Alotaibi M O, *et al.* Chemical diversity and bioactivities of monoterpene indole alkaloids (MIAs) from six *Apocynaceae* Genera [J]. *Molecules*, 2021, 26(2): 488.
- [3] Ali M, Sultana S, Mir S R. Chemical constituents from the *Alstonia scholaris* stem bark, *Eclipta prostrata* aerial parts and *Morus alba* stem bark [J]. *Eur J Pharm Med Res*, 2020, 7(4): 511-521.
- [4] Zhang L, Hua Z Q, Song Y, *et al.* Monoterpenoid indole alkaloids from *Alstonia rupestris* with cytotoxic, antibacterial and antifungal activities [J]. *Fitoterapia*, 2014, 97: 142-147.
- [5] Yan T L, Han D X, Hu J, *et al.* Monoterpenoid indole alkaloids from *Alstonia mairei* and their cytotoxicity [J]. *J Asian Nat Prod Res*, 2017, 19(6): 550-556.
- [6] Zhao Y L, Shang J H, Pu S B, *et al.* Effect of total alkaloids from *Alstonia scholaris* on airway inflammation in rats [J]. *J Ethnopharmacol*, 2016, 178: 258-265.
- [7] Chua L S, Abdullah F I, Awang M A. Potential of natural bioactive C-glycosyl flavones for antidiabetic properties [M] // *Bioactive Natural Products*. Amsterdam: Elsevier, 2020: 241-261.
- [8] Li Y Q, Cai J, Cheng J X, *et al.* Alstomairines D-G: New monoterpene indole alkaloids with cytotoxic activity from *Alstonia mairei* [J]. *J Mol Struct*, 2022, 1253:

- 132277.
- [9] Pierce C G, Uppuluri P, Tristan A R, *et al.* A simple and reproducible 96-well plate-based method for the formation of fungal biofilms and its application to antifungal susceptibility testing [J]. *Nat Protoc*, 2008, 3(9): 1494-1500.
- [10] Li X A, Zhang D Z, Onda M, *et al.* Ent-kauranoid diterpenes from *Artemisia sacrorum* [J]. *J Nat Prod*, 1990, 53(3): 657-661.
- [11] Chen W M, Yan Y P, Wang Y J, *et al.* Isolation and identification of three new alkaloids from the roots of *Alstonia yunnanensis* Diels Indiana, USA [J]. *Acta Pharm Sin*, 1985, 20(12): 906-912.
- [12] Tissandié L, Viciano S, Brevard H, *et al.* Towards a complete characterisation of guaiacwood oil [J]. *Phytochemistry*, 2018, 149: 64-81.
- [13] Feng T, Li Y, Cai X H, *et al.* Monoterpenoid indole alkaloids from *Alstonia yunnanensis* [J]. *J Nat Prod*, 2009, 72(10): 1836-1841.
- [14] 吴昊, 宋京风, 范堃, 等. 云南萝芙木根中吲哚生物碱及其抗菌活性 [J]. *中草药*, 2023, 54(4): 1033-1042.
- [15] 李文静, 洪博, 赵春杰. 萝芙木化学成分的分离与鉴定 [J]. *中国药房*, 2013, 24(3): 256-258.
- [16] Konda Y, Iguchi M, Harigaya Y, *et al.* Hancokinol, a novel triterpene, from *Cynanchum hancokianum* [J]. *Tetrahedron Lett*, 1990, 31(37): 5315-5318.
- [17] 王妍, 梁旭博, 赵珍珠. 泽漆全草中二萜类成分研究 [J]. *中草药*, 2022, 53(15): 4625-4633.
- [责任编辑 王文倩]

• 封面图片介绍 •

鸡蛋果花



鸡蛋果 *Passiflora edulis* Sims, 俗名百香果、紫果西番莲、洋石榴, 西番莲科西番莲属草质藤本植物, 是一种香料水果, 有“果汁之王”的美誉。其根、茎、叶均可入药, 具有提升免疫力、缓解疲劳、促进消化、缓解便秘、抗氧化、延缓衰老、辅助改善睡眠、调节血糖、降压调脂等功效。鸡蛋果花是典型的漏斗状, 花朵较大, 一般直径可达到 10~12 cm, 颜色为白色或略带黄色。它的花朵构造非常特别, 由多个雄蕊和雌蕊组成, 这种结构有助于吸引各种昆虫, 尤其是蜜蜂来进行授粉。鸡蛋果花的花冠边缘呈波浪形, 中央具有多个褶皱, 这些褶皱对昆虫触碰非常敏感, 能够帮助花粉的传播。

鸡蛋果喜温暖湿润的气候, 因此其花朵多在春末至夏季开放, 此时温度适宜, 湿度较高, 有利于百香果的生长和授粉。百香果的花一般在夜间开放, 持续时间较短, 通常在清晨凋谢。这也体现了百香果对环境的适应性, 保证了在热带和亚热带地区的自然生长。

(本封面图片由范佳乐提供)