

## 保山产赤芝中三个新的酚类化合物

徐永生, 刘云云, 程永现\*

(深圳大学医学部药学院, 中医药守正创新研究院, 广东 深圳 518060)

**摘要:** 利用各种色谱技术, 从保山产赤芝中得到6个化合物。结合波谱方法鉴定了它们的结构, 分别为 baosacid A (1)、baosside A (2)、ethyl-2, 5-dihydroxy- $\gamma$ -oxobenzenebutanoate (3)、australins A (4)、2, 5-dihydroxy- $\gamma$ -oxobenzenebutanoic acid (5) 和 methyl 2,5-dihydroxy- $\gamma$ -oxobenzenebutanoate (6)。其中, 化合物1~3为新的酚类化合物, 化合物5为新天然产物。

**关键词:** 赤芝; 化学成分; 分离纯化; 结构鉴定; 酚类

中图分类号: R284 文献标识码: A 文章编号: 0513-4870(2025)05-1494-05

## Three new phenolic compounds from the fruiting bodies of *Ganoderma lucidum* in Baoshan area

XU Yong-sheng, LIU Yun-yun, CHENG Yong-xian\*

(School of Pharmacy, Shenzhen University Medical School, Institute for Inheritance-Based Innovation of Chinese Medicine, Shenzhen University, Shenzhen 518060, China)

**Abstract:** Six compounds including three new compounds were obtained from the fruiting bodies of *Ganoderma lucidum* in Baoshan area. These structures were identified as baosacid A (1), baosside A (2), ethyl 2,5-dihydroxy- $\gamma$ -oxobenzenebutanoate (3), australins A (4), 2, 5-dihydroxy- $\gamma$ -oxobenzenebutanoic acid (5), and methyl 2, 5-dihydroxy- $\gamma$ -oxobenzenebutanoate (6) on the basis of spectroscopic methods. In addition, compound 5 is a newly occurring natural product.

**Key words:** *Ganoderma lucidum*; chemical component; separation and purification; structural characterization; phenol

灵芝 (*Ganoderma lucidum*), 担子菌纲、灵芝科、灵芝属的药食两用真菌, 载于《神农本草经》, 性平, 味甘, 具有补中益气、滋外强壮、扶正固本、延年益寿等功效<sup>[1]</sup>, 是我国传统的中药材<sup>[2]</sup>。2020版《中国药典》记载, 灵芝为多孔菌科真菌赤芝 *Ganoderma lucidum* (Leyss. ex Fr.) Karst. 或紫芝 *Ganoderma sinense* Zhao, Xu et Zhang 的干燥子实体<sup>[3]</sup>。其主要化学成分为多糖类、三萜、生物碱、甾体、核苷、蛋白质和微量元素等<sup>[4-7]</sup>, 具有抗炎<sup>[5]</sup>、抗肿瘤<sup>[8,9]</sup>、抗氧化<sup>[10,11]</sup>、抗肾纤维

化<sup>[12,13]</sup>等多种药理活性。近年来, 灵芝因其显著功效而备受关注, 其化学成分的研究也一直被重点关注。尽管如此, 安神、延缓衰老等作用的物质基础远未能解决。因此, 进一步深入挖掘灵芝的化学成分还具有重大意义。本实验在对其的深入研究中分离鉴定了6个酚类化合物(图1), 其中化合物1~3为新的酚类化合物, 化合物4~6为已知化合物, 化合物5为新天然产物。

### 结果与讨论

化合物1为黄色固体。根据<sup>13</sup>C NMR谱数据和HR-ESI-MS数据 ( $m/z$  295.058 8 [M+Na]<sup>+</sup>, calcd. for 295.057 7), 确定该化合物的分子式为C<sub>15</sub>H<sub>12</sub>O<sub>5</sub>, 不饱和

收稿日期: 2025-01-16; 修回日期: 2025-03-09.

基金项目: 国家自然科学基金项目 (82030115).

\*通讯作者 Tel: 86-755-86172799, E-mail: yxcheng@szu.edu.cn

DOI: 10.16438/j.0513-4870.2025-0054

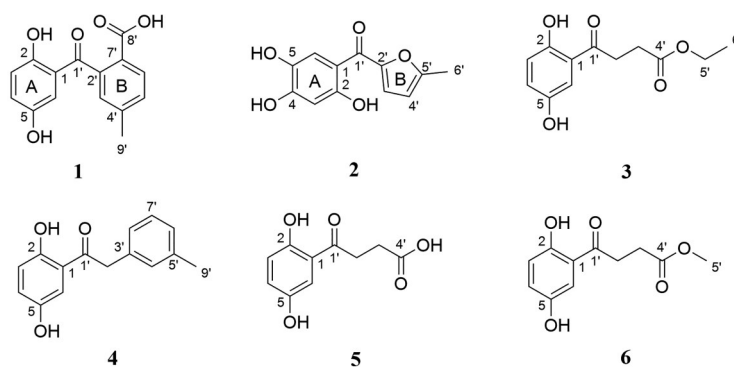


Figure 1 Structures of compounds 1-6

度为10。 $^1\text{H}$  NMR (600 MHz,  $\text{CD}_3\text{OD}$ ) 谱 (表1) 显示芳香区有6个质子信号 [ $\delta_{\text{H}}$  7.96 (1H, d,  $J = 8.0$  Hz, H-6'), 7.42 (1H, dd,  $J = 8.0, 1.7$  Hz, H-5'), 7.16 (1H, d,  $J = 1.7$  Hz, H-3'), 6.95 (1H, dd,  $J = 8.9, 3.0$  Hz, H-4), 6.82 (1H, d,  $J = 8.9$  Hz, H-3), 6.50 (1H, d,  $J = 3.0$  Hz, H-6)]。质子信号的峰型和耦合常数表明结构中存在两个典型的ABX系统。此外, 在高场区还有1个甲基信号 [ $\delta_{\text{H}}$  2.45 (3H, s, H-9')。根据甲基质子信号的化学位移推断其为连在苯环或双键上的甲基。由 $^{13}\text{C}$  NMR (150 MHz,  $\text{CD}_3\text{OD}$ ) 谱 (表1) 和HMBC谱可知结构中存在15个碳信号, 包括8个非质子碳 (芳香区或烯区) [ $\delta_{\text{C}}$  205.4 (C-1'), 170.4 (C-8'), 156.7 (C-2), 150.3 (C-5), 143.8 (C-4'), 142.0 (C-2'), 130.5 (C-7'), 121.7 (C-1)], 6个次甲基 (芳香区或烯区) [ $\delta_{\text{C}}$  131.3 (C-6'), 131.2 (C-5'), 128.6 (C-3'), 125.4 (C-4), 119.3 (C-3), 118.1 (C-6)] 和1个甲基 [ $\delta_{\text{C}}$  21.4 (C-9')。 $^1\text{H}$ - $^1\text{H}$  COSY谱中 (图2), H-3/H-4的相关证明了环A中ABX的取代方式。此外,  $^1\text{H}$ - $^1\text{H}$  COSY谱中 (图2) H-5'/H-6'的相关和HMBC谱 (图2) 中H<sub>3</sub>-9'/C-3', C-4', C-5', H-6'/C-7', C-8' ( $\delta_{\text{C}}$  170.4) 和H-3'/C-2', C-7'相关证明了另一个ABX系统环B的存在, 且甲基和羧基分别连接于C-4'和C-7'位。最后, HMBC谱 (图2) 中H-6, H-3'/C-1' ( $\delta_{\text{C}}$  205.4) 的相关表明环A和环B通过C-1'连接。综上所述, 化合物1的结构被确定, 并将其命名为baosacid A。

化合物2为褐色固体。根据 $^{13}\text{C}$  NMR谱数据和HR-ESI-MS数据 ( $m/z$  235.060 2 [ $\text{M}+\text{H}$ ] $^+$ , calcd. for 235.060 1), 确定该化合物的分子式为 $\text{C}_{12}\text{H}_{10}\text{O}_5$ , 不饱和

度为8。 $^1\text{H}$  NMR (500 MHz,  $\text{CD}_3\text{OD}$ ) 谱 (表1) 显示芳香区或烯区有4个质子信号 [ $\delta_{\text{H}}$  7.78 (1H, s, H-6), 7.29 (1H, d,  $J = 3.5$  Hz, H-3'), 6.35 (1H, s, H-3), 6.34 (1H, d,  $J = 3.5$  Hz, H-4')], 此外, 在高场区还有1个甲基信号 [ $\delta_{\text{H}}$  2.47 (3H, s, H-9')。] $^{13}\text{C}$  NMR (150 MHz,  $\text{CD}_3\text{OD}$ ) 谱 (表1) 显示出12个碳信号, 结合DEPT谱可知, 结构中存在7个非质子碳 (芳香区或烯区) [ $\delta_{\text{C}}$  183.8 (C-1'), 161.5 (C-2), 159.4 (C-5'), 155.9 (C-4), 152.3 (C-2'), 139.6 (C-5), 111.4 (C-1)], 4个次甲基 (芳香区或烯区) [ $\delta_{\text{C}}$  122.7 (C-3'), 117.1 (C-6), 110.1 (C-4'), 104.2 (C-3)], 1个甲基碳 [ $\delta_{\text{C}}$  13.9 (C-9')。HMBC谱 (图2) 中H-3'/C-1, C-2 ( $\delta_{\text{C}}$  161.5), C-4 ( $\delta_{\text{C}}$  155.9), C-5 ( $\delta_{\text{C}}$  139.6) 和H-6/C-1, C-2, C-4, C-5的相关, 结合C-2, C-4, C-5的化学位移表明C-2, C-4, C-5位含氧的1,2,4,5-四取代苯环的存在。在 $^1\text{H}$ - $^1\text{H}$  COSY谱 (图2) 中H-3'/H-4'的相关和HMBC谱 (图2) 中H-3', H-4'/C-5', H-3', H-4'/C-2'和H<sub>3</sub>-6'/C-4', C-5', C-2' (weak) 表明环B的存在。最后, HMBC谱中H-6, H-3'/C-1'的相关表明两个环通过C-1'进行连接。因此, 化合物2的结构被确定, 并将其命名为baosside A。

化合物3为黄色固体。根据 $^{13}\text{C}$  NMR谱数据和HR-ESI-MS数据 ( $m/z$  261.073 4 [ $\text{M}+\text{Na}$ ] $^+$ , calcd. for 261.073 3), 确定该化合物的分子式为 $\text{C}_{12}\text{H}_{14}\text{O}_5$ , 不饱和度为6。 $^1\text{H}$  NMR (600 MHz,  $\text{CD}_3\text{OD}$ ) 谱 (表1) 显示芳香区有3个质子信号 [ $\delta_{\text{H}}$  7.27 (1H, d,  $J = 2.9$  Hz, H-6), 7.01 (1H, dd,  $J = 8.9, 2.9$  Hz, H-4), 6.80 (1H, d,  $J = 8.9$  Hz, H-3)]。此外, 在中高场区存在3个亚甲基 [ $\delta_{\text{H}}$

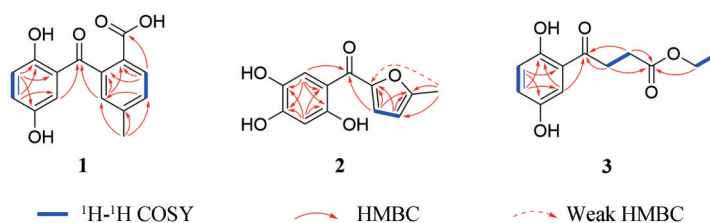


Figure 2 The  $^1\text{H}$ - $^1\text{H}$  COSY and key HMBC correlations of compounds 1-3

**Table 1**  $^{13}\text{C}$  NMR (150 MHz) and  $^1\text{H}$  NMR (500 MHz) spectral of 1-3 (in  $\text{CD}_3\text{OD}$ )

No.	1		2		3	
	$\delta_{\text{H}}$ ( $J$ in Hz)	$\delta_{\text{C}}$ type	$\delta_{\text{H}}$ ( $J$ in Hz)	$\delta_{\text{C}}$ type	$\delta_{\text{H}}$ ( $J$ in Hz)	$\delta_{\text{C}}$ type
1		121.7, C		111.4, C		120.4, C
2		156.7, C		161.5, C		156.4, C
3	6.82, d (8.9)	119.3, CH	6.35, s	104.2, CH	6.80, d (8.9)	119.7, CH
4	6.95, dd (8.9, 3.0)	155.9, CH		155.9, C	7.01, dd (8.9, 2.9)	125.8, CH
5		150.3, C		139.6, C		150.7, C
6	6.50, d (3.0)	118.1, CH	7.78, s	117.1, CH	7.27, d (2.9)	115.4, CH
1'		205.4, C		183.8, C		205.5, C
2'		142.0, C		152.3, C	3.33, t (6.3)	34.3, $\text{CH}_2$
3'	7.16, d (1.7)	128.6, CH	7.29, d (3.5)	122.7, CH	2.71, t (6.3)	28.8, $\text{CH}_2$
4'		143.8, C	6.34, d (3.5)	110.1, CH		174.6, C
5'	7.42, dd (8.0, 1.7)	131.2, CH		159.4, C	4.14, q (7.1)	67.1, $\text{CH}_2$
6'	7.96, d (8.0)	131.3, CH	2.47, s	13.9, $\text{CH}_3$	1.25, t (7.1)	14.5, $\text{CH}_3$
7'		130.5, C				
8'		170.5, C				
9'	2.45, s	21.4, $\text{CH}_3$				

4.14 (2H, q,  $J = 7.1$  Hz, H-5'), 3.33 (2H, t,  $J = 6.3$  Hz, H-2'), 2.71 (2H, t,  $J = 6.3$  Hz, H-3')], 1个甲基信号 [ $\delta_{\text{H}}$  1.25 (3H, t,  $J = 7.1$  Hz, H-6')]. 结合质子信号的峰型和耦合常数确定结构中有一个典型的ABX系统。 $^{13}\text{C}$  NMR (150 MHz,  $\text{CD}_3\text{OD}$ ) 谱和DEPT谱(表1)显示12个碳信号, 包括5个非质子碳(烯区或芳香区) [ $\delta_{\text{C}}$  156.4 (C-2), 150.7 (C-5), 120.4 (C-1), 205.5 (C-1'), 174.6 (C-4')], 3个芳香次甲基 [ $\delta_{\text{C}}$  125.8(C-4), 119.7 (C-3), 115.4 (C-6)], 3个亚甲基 [ $\delta_{\text{C}}$  61.7(C-5'), 34.3 (C-2'), 28.8 (C-3')], 1个甲基碳 [ $\delta_{\text{C}}$  14.5 (C-6')]. 在 $^1\text{H}$ - $^1\text{H}$  COSY谱(图2)中H-3/H-4的相关证实了ABX系统的存在。此外, $^1\text{H}$ - $^1\text{H}$  COSY谱(图2)中 $\text{H}_2$ -2'/ $\text{H}_2$ -3'和 $\text{H}_2$ -5'/ $\text{H}_3$ -6'的相关及HMBC谱(图2)中H-6,  $\text{H}_2$ -2',  $\text{H}_2$ -3'/C-1'和 $\text{H}_2$ -2',  $\text{H}_2$ -3',  $\text{H}_2$ -5'/C-4'的相关表明C2'-C3'-C4'-O-C5'-C6'片段与苯环通过C-1'连接。综上所述, 化合物3的结构被确定, 并将其命名为 ethyl 2,5-dihydroxy- $\gamma$ -oxobenzenebutanoate。

## 实验部分

SP 5030型半制备高效液相色谱仪(北京赛谱锐思科技有限公司); AB SCIEX triple TOF X500R高分辨质谱仪(AB SCIEX公司); Bruker AV-500 MHz及AV-600 MHz核磁共振波谱仪(以TMS为内标, 德国Bruker公司); MCI gel CHP 20P填料(70~150  $\mu\text{m}$ , 日本三菱公司); YMC gel ODS-A-HG填料(12 nm S-50  $\mu\text{m}$ , 日本YMC公司); 半制备SEP Basic C18色谱柱(120A 5  $\mu\text{m}$ , 10 mm  $\times$  250 mm)和Thermo EVO 300型紫外分光光度计(北京赛谱锐思科技有限公司)。

灵芝药材于2018年4月购自云南省保山市滇滩镇胜利村, 由中国科学院昆明植物研究所杨祝良教授鉴定为赤芝的干燥子实体, 样品标本(CHYX0619)已存

放在广东省深圳市深圳大学药学院。

## 1 提取分离

取500.0 kg保山产赤芝干燥子实体, 粉碎后于室温下用80%乙醇回流提取(3 000 L  $\times$  2, 3 h), 提取液减压浓缩, 得浸膏24.6 kg。其加适量水混悬后, 加等体积的乙酸乙酯萃取4次, 减压浓缩, 得浸膏11.5 kg。乙酸乙酯浸膏经MCI gel CHP 20P反相色谱柱(甲醇/水, 40%~100%)梯度洗脱, TLC监测, 合并相同的部分, 得Fr.A~Fr.Q共17个组分。

Fr.E (83.0 g) 经葡聚糖凝胶柱色谱(Sephadex LH-20)洗脱, TLC检测合并相同成分, 得Fr.E.1和Fr.E.2两个亚组分。Fr.E.2 (79.9 g) 经MCI gel CHP 20P反相色谱柱(甲醇/水, 30%~100%)梯度洗脱, 得Fr.E.2.1~Fr.E.2.4四个组分。Fr.E.2.1 (44.4 g) 再次经Sephadex LH-20色谱洗脱得Fr.E.2.1.1~Fr.E.2.1.3三个组分。Fr.E.2.1.1 (23.2 g) Sephadex LH-20凝胶色谱柱(甲醇/水, 70%)洗脱得Fr.E.2.1.1.1~Fr.E.2.1.1.4四个组分。因Fr.E.2.1.1.2和Fr.E.2.1.1.3差别不大, 遂将其合并为Fr.E.2.1.1.b一个组分。Fr.E.2.1.1.b (35.0 g), 经MCI gel CHP 20P反相色谱柱(甲醇/水, 24%~100%)梯度洗脱得Fr.E.2.1.1.b.1~Fr.E.2.1.1.b.4四个组分。Fr.E.2.1.1.b.2 (26.6 g) 经Sephadex LH-20色谱柱进行洗脱后得Fr.E.2.1.1.b.2.1~Fr.E.2.1.1.b.2.4。Fr.E.2.1.1.b.2.4 (1.1 g) 经Sephadex LH-20色谱柱(甲醇/水, 70%)洗脱后得Fr.E.2.1.1.b.2.4.1~Fr.E.2.1.1.b.2.4.7七个亚组分。Fr.E.2.1.1.b.2.4.1 (150.4 mg) 经半制备高效液相色谱HPLC纯化得化合物5(乙腈/水30%, 水中含0.05%甲酸, 流速: 3.0  $\text{mL}\cdot\text{min}^{-1}$ ,  $t_{\text{R}} = 16.3$  min, 18.9 mg)。Fr.E.2.1.1.b.2.4.2 (179.6 mg) 经半制备HPLC纯化后得化合物6(甲醇/水, 45%, 含0.05%甲酸, 流速: 3.0  $\text{mL}\cdot\text{min}^{-1}$ ,  $t_{\text{R}} = 23.5$  min, 23.9 mg)。Fr.E.2.1.1.b.2.4.3 (79.4 mg) 经

半制备 HPLC 纯化后得化合物 **3** (甲醇/水, 50%, 水中含 0.05% 甲酸, 流速:  $3.0 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$ ,  $t_{\text{R}} = 20.3 \text{ min}$ , 3.8 mg)。Fr.E.2.1.1.b.2.4.7 (89.1 mg) 经半制备 HPLC 纯化后得化合物 **4** (乙腈/水, 32%, 水中含 0.05% 甲酸, 流速:  $3.0 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$ ,  $t_{\text{R}} = 24.7 \text{ min}$ , 3.9 mg)。

Fr.G (1.2 kg) 经 MCI gel CHP 20P 反相色谱柱 (甲醇/水, 40%~100%) 梯度洗脱, 得 Fr.G.1~Fr.G.7 七个组分。Fr.G.2 (280.9 g) 经 Sephadex LH-20 柱色谱进行洗脱后得 Fr.G.2.1~Fr.G.2.3 三个组分。Fr.G.2.3 (71.1 g) 经 YMC gel ODS-A-HG 反相色谱柱 (甲醇/水, 30%~100%) 梯度洗脱后得 Fr.G.2.3.1~Fr.G.2.3.4 四个组分。Fr.G.2.3.2 (13.9 g) 经 Sephadex LH-20 柱色谱洗脱后得到 Fr.G.2.3.2.1~Fr.G.2.3.2.6 六个组分。Fr.G.2.3.2.2 (6.3 g) 再次经 Sephadex LH-20 柱色谱 (甲醇/水, 70%) 进行洗脱。得 Fr.G.2.3.2.2.1 和 Fr.G.2.3.2.2.2 两个组分。Fr.G.2.3.2.2.2 (3.2 g) 经 RP-18 反相色谱柱 (甲醇/水, 30%) 梯度洗脱得 Fr.G.2.3.2.2.2.1~Fr.G.2.3.2.2.2.3 三个组分。Fr.G.2.3.2.2.2.2 (2.4 g) 经 Sephadex LH-20 柱色谱进行洗脱得 Fr.G.2.3.2.2.2.2.1~Fr.G.2.3.2.2.2.2.4 四个组分。Fr.G.2.3.2.2.2.2.3 (81.2 mg) 经半制备 HPLC 纯化后得化合物 **2** (乙腈/水, 34%, 水中含 0.05% 甲酸, 流速:  $3.0 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$ ,  $t_{\text{R}} = 22.3 \text{ min}$ , 2.0 mg)。Fr.G.2.3.3 (55.4 g) 经 Sephadex LH-20 柱色谱进行洗脱后得 Fr.G.2.3.3.1~Fr.G.2.3.3.4 四个组分。Fr.G.2.3.3.3 (1.5 g) 经 RP-18 反相色谱柱 (甲醇/水, 30%) 梯度洗脱得 Fr.G.2.3.3.3.1~Fr.G.2.3.3.3.8 八个组分。Fr.G.2.3.3.3.7 (155.9 mg) 经半制备 HPLC 纯化后得化合物 **1** (乙腈/水, 36%, 水中含 0.05% 甲酸, 流速:  $3.0 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$ ,  $t_{\text{R}} = 18.8 \text{ min}$ , 1.2 mg)。

## 2 结构鉴定

化合物 **1** 黄色固体, 溶于甲醇。[ $\alpha_{\text{D}}^{20}$ ] -10.0 ( $c$  0.30, MeOH)。IR (KBr): 3 372、1 754、1 697、1 476、1 229、1 185、792  $\text{cm}^{-1}$ 。UV (MeOH)  $\lambda_{\text{max}}$  (log $\epsilon$ ): 360 (3.51)、322 (3.39)、226 (4.20)、208 (4.25) nm。 $^1\text{H}$  NMR (600 MHz,  $\text{CD}_3\text{OD}$ ) 和  $^{13}\text{C}$  NMR (150 MHz,  $\text{CD}_3\text{OD}$ ) 数据见表 1, HR-ESI-MS  $m/z$  295.058 8  $[\text{M}+\text{Na}]^+$  (calcd. for 295.057 7,  $\text{C}_{15}\text{H}_{12}\text{O}_5\text{Na}$ )。

化合物 **2** 褐色固体, 溶于甲醇。IR (KBr): 3 434、1 633、1 503、1 285、1 202、1 144、830、665、513  $\text{cm}^{-1}$ 。UV (MeOH)  $\lambda_{\text{max}}$  (log $\epsilon$ ): 382 (4.05)、348 (3.89)、316 (4.15)、242 (3.76)、208 (4.20) nm。 $^1\text{H}$  NMR (500 MHz,  $\text{CD}_3\text{OD}$ ) 和  $^{13}\text{C}$  NMR (150 MHz,  $\text{CD}_3\text{OD}$ ) 数据见表 1, HR-ESI-MS  $m/z$  235.060 2  $[\text{M}+\text{H}]^+$  (calcd. for 235.060 1,  $\text{C}_{12}\text{H}_{11}\text{O}_5$ )。

化合物 **3** 黄色固体, 溶于甲醇。IR (KBr): 3 362、1 691、1 619、1 480、1 164、769、571  $\text{cm}^{-1}$ 。UV (MeOH)  $\lambda_{\text{max}}$

(log $\epsilon$ ): 362 (3.61)、288 (3.06)、256 (3.88)、226 (4.20) nm。 $^1\text{H}$  NMR (600 MHz,  $\text{CD}_3\text{OD}$ ) 和  $^{13}\text{C}$  NMR (150 MHz,  $\text{CD}_3\text{OD}$ ) 数据见表 1, HR-ESI-MS  $m/z$  261.073 4  $[\text{M}+\text{Na}]^+$  (calcd. for 261.073 3,  $\text{C}_{12}\text{H}_{14}\text{O}_5\text{Na}$ )。

化合物 **4** 黄色胶状, 溶于甲醇, ESI-MS  $m/z$  243  $[\text{M}+\text{H}]^+$ , 分子式为  $\text{C}_{15}\text{H}_{14}\text{O}_5$ 。 $^1\text{H}$  NMR (500 MHz,  $\text{CD}_3\text{OD}$ )  $\delta_{\text{H}}$  7.34 (1H, d,  $J = 2.9 \text{ Hz}$ , H-3), 7.19 (1H, t,  $J = 7.6 \text{ Hz}$ , H-7'), 7.10 (1H, brs, H-4'), 7.06 (1H, overlap, H-6'), 7.06 (1H, overlap, H-8'), 7.00 (1H, dd,  $J = 8.9, 2.9 \text{ Hz}$ , H-5), 6.79 (1H, d,  $J = 8.9 \text{ Hz}$ , H-6), 4.24 (2H, s, H-2'), 2.32 (3H, s, H-9');  $^{13}\text{C}$  NMR (150 MHz,  $\text{CD}_3\text{OD}$ )  $\delta_{\text{C}}$  205.6 (C-1'), 157.1 (C-1), 150.6 (C-4), 139.4 (C-5'), 135.9 (C-3'), 131.1 (C-4'), 129.6 (C-7'), 128.6 (C-6'), 127.5 (C-8'), 126.0 (C-5), 120.1 (C-2), 119.7 (C-6), 116.3 (C-3), 46.2 (C-2'), 21.4 (C-9')。以上数据同文献<sup>[14]</sup>所报道基本一致, 故鉴定化合物 **4** 是 australins A。

化合物 **5** 黄色固体, 溶于甲醇, ESI-MS  $m/z$  211  $[\text{M}+\text{H}]^+$ , 分子式为  $\text{C}_{10}\text{H}_{10}\text{O}_5$ 。 $^1\text{H}$  NMR (500 MHz,  $\text{CD}_3\text{OD}$ )  $\delta_{\text{H}}$  7.27 (1H, d,  $J = 2.9 \text{ Hz}$ , H-2), 7.01 (1H, dd,  $J = 8.9, 2.9 \text{ Hz}$ , H-4), 6.79 (1H, d,  $J = 8.9 \text{ Hz}$ , H-3), 3.33 (2H, t,  $J = 6.3 \text{ Hz}$ , H-2'), 2.71 (2H, t,  $J = 6.3 \text{ Hz}$ , H-3');  $^{13}\text{C}$  NMR (150 MHz,  $\text{CD}_3\text{OD}$ )  $\delta_{\text{C}}$  205.6 (C-1'), 176.5 (C-4'), 156.4 (C-2), 150.6 (C-5), 125.8 (C-4), 120.3 (C-1), 119.6 (C-3), 115.4 (C-6), 34.3 (C-2'), 28.5 (C-3')。以上数据同文献<sup>[15]</sup>所报道基本一致, 故鉴定化合物 **5** 是 2,5-dihydroxy- $\gamma$ -oxobenzenobutanoic acid。

化合物 **6** 黄色固体, 溶于甲醇, ESI-MS  $m/z$  225  $[\text{M}+\text{H}]^+$ , 分子式为  $\text{C}_{11}\text{H}_{12}\text{O}_5$ 。 $^1\text{H}$  NMR (500 MHz,  $\text{CD}_3\text{OD}$ )  $\delta_{\text{H}}$  7.27 (1H, d,  $J = 2.9 \text{ Hz}$ , H-2), 7.01 (1H, dd,  $J = 8.9, 2.9 \text{ Hz}$ , H-4), 6.79 (1H, d,  $J = 8.9 \text{ Hz}$ , H-3), 3.68 (3H, s, H-5'), 3.33 (2H, t,  $J = 6.3 \text{ Hz}$ , H-2'), 2.71 (2H, t,  $J = 6.3 \text{ Hz}$ , H-3');  $^{13}\text{C}$  NMR (150 MHz,  $\text{CD}_3\text{OD}$ )  $\delta_{\text{C}}$  205.6 (C-1'), 175.0 (C-4'), 156.4 (C-2), 150.7 (C-5), 125.8 (C-4), 120.4 (C-1), 119.7 (C-3), 115.4 (C-6), 52.5 (C-5'), 34.3 (C-2'), 28.8 (C-3')。以上数据同文献<sup>[15]</sup>所报道基本一致, 故鉴定化合物 **6** 是 methyl 2,5-dihydroxy- $\gamma$ -oxobenzenobutanoate。

作者贡献: 徐永生是本文的第一作者, 负责对化合物进行结构解析鉴定以及撰写文章; 刘云云为本文的第二作者, 负责处理数据和修改文章; 程永现为本文的通讯作者, 负责实验的指导和设计, 并对文章进行审阅和定稿。

利益冲突: 所有作者均声明没有利益冲突。

## References

- [1] Xu SN. Shennong's Classic of Material Medical (神农本草经)

- [M]. Shijiazhuang: Hebei Science & Technology Press, 1996: 70.
- [2] Lei HJ, Pan DY, Liu S, et al. Effects of exogenous substances on the deep fermentation of *Ganoderma lucidum* [J]. Edible Med Mushrooms (食药用菌), 2017, 25: 234-239.
- [3] Chinese Pharmacopoeia Commission. Pharmacopoeia of the People's Republic of China (中华人民共和国药典) [S]. Beijing: China Medical Science and Technology Press, 2020.
- [4] Luo Y, Chen L, Zhang XL, et al. Research progress on pharmacological activity of *Ganoderma lucidum* triterpenoids [J]. Chin Pharmacol Bull (中国药理学通报), 2021, 37: 1185-1188.
- [5] Pang ZF, Li HQ, Sun CY, et al. Research progress on anti-inflammatory effect and molecular mechanism of ganoderic acid [J]. Chin Tradit Pat Med (中成药), 2024, 46: 2297-2301.
- [6] Ma XY, Xu BL, Song H, et al. Research progress on the chemical composition of *Ganoderma lucidum* and its prevention and treatment of tumors [J]. Chin Pharm J (中国药学杂志), 2023, 58: 1437-1446.
- [7] Liu C, Song X, Li Y, et al. A comprehensive review on the chemical composition, pharmacology and clinical applications of *Ganoderma* [J]. Am J Chin Med, 2023, 51: 1983-2040.
- [8] Zhang WJ, Song Y, Hu Y, et al. Research progress on antitumor effect and compatibility of *Ganoderma lucidum* [J]. Chin Tradit Herb Drugs (中草药), 2023, 54: 5390-5398.
- [9] Li YH, Liu JL, Wang TT, et al. Research progress on antitumor immunomodulatory mechanism of *Ganoderma lucidum* polysaccharides [J]. Chin J Immunol (中国免疫学杂志), 2021, 37: 511-514.
- [10] Qiu J, Wang X, Song C. Neuroprotective and antioxidant lanostanoid triterpenes from the fruiting bodies of *Ganoderma atrum* [J]. Fitoterapia, 2016, 109: 75-79.
- [11] Xie XY, Li X, Wang W, et al. Optimization of polysaccharide fermentation process conditions and antioxidant activity of *Ganoderma lucidum* fruiting body [J]. Food Res Dev (食品研究与开发), 2023, 44: 107-115.
- [12] Li D, Gao Q, Cheng YX, et al. Five undescribed meroterpenoids from *Ganoderma lucidum* and their inhibitory activities against renal fibrosis [J]. Fitoterapia, 2024, 176: 106031.
- [13] Zhang LN, Qian R, Wang QL, et al. Research on the improvement of renal fibrosis by regulating Keap1/Nrf2/HO-1 signaling pathway in *Ganoderma lucidum* [J]. Res Pract Chin Med (现代中药研究与实践), 2024, 38: 14-20.
- [14] Zhang JJ, Dong Y, Qin FY, et al. Meroterpenoids and alkaloids from *Ganoderma australe* [J]. Nat Prod Res, 2021, 35: 3226-3232.
- [15] Li D. Directed Acquisition of Heterpene Components in Baoshan *Ganoderma lucidum* and Its Biological Activity (保山赤芝中杂萜成分定向获取及其生物活性研究) [D]. Guangzhou: Southern Medical University, 2024.