广西植物 Guihaia Aug. 2026, 46(8): 1394-1404 http://www.guihaia-journal.com

DOI: 10.11931/guihaia.gxzw202511008

李姝瑶, 李桂勤, 庞闹, 等, 2026. 红根草的化学成分及其抗氧化活性研究[J]. 广西植物, 46(8): 1394-1404.
Li S Y, Li G Q, Pang N, et al., 2026. Chemical constituents from *Salvia prionitis* and their antioxidant activities [J]. Guihaia, 46(8): 1394-1404.

红根草的化学成分及其抗氧化活性研究

李姝瑶[1,2], 李桂勤[2], 庞　闹[1,2], 王亚凤[2], 阳丙媛[2],
葛　利[1], 杨克迪[1], 黄永林[2], 刘章彬[2*]

(1. 广西大学 医学院, 南宁 530004; 2. 广西壮族自治区 中国科学院 广西植物研究所, 广西植物功能物质与资源持续利用重点实验室, 广西 桂林 541006)

摘　要: 为探究红根草(*Salvia prionitis*)的化学成分及其抗氧化活性,该研究采用 MCI、硅胶、ODS、HW-40F 及高效液相色谱(HPLC)对红根草乙酸乙酯部位进行分离纯化,并综合运用波谱学方法(1D-/2D-NMR、HR-MS、CD)及化学计算鉴定化合物结构,通过 1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(DPPH)自由基清除法评价化合物的抗氧化能力。结果表明:(1)从红根草中分离得到 17 个化合物,分别鉴定为 3-hydroxysalvinolone(**1**)、丹参酚酮(**2**)、salviadesertin J(**3**)、5α,11,12-trihydroxy-6-oxaabieta-8,11,13-trien-7-one(**4**)、桧醇(**5**)、perovskin C(**6**)、4-羟基红根草对醌(**7**)、prineoparaquinone(**8**)、miltiolactone(**9**)、2α,3α-dihydroxyursolic acid 28-*O*-β-D-glucopyranosyl ester(**10**)、19α-羟基积雪草酸(**11**)、齐墩果酸(**12**)、橙皮苷(**13**)、异槲皮苷(**14**)、芦丁(**15**)、山奈酚-3-*O*-β-D-葡萄糖苷(**16**)和山奈酚-3-*O*-芸香糖苷(**17**)。其中,化合物 **1** 为新化合物,化合物 **4**、**6**、**10**、**11**、**13** 和 **17** 为首次从鼠尾草属植物中分离得到,化合物 **3** 和 **9** 为首次从该植物中分离得到。(2)DPPH 自由基清除测试结果表明,化合物 **14**[IC_{50} = (0.009 2±0.000 06) mmol·L^{-1}]和 **15**[IC_{50} = (0.013 2±0.000 06) mmol·L^{-1}]的活性强于阳性对照[抗坏血酸,IC_{50} = (0.044 2±0.000 46) mmol·L^{-1}]。该研究结果可为红根草抗氧化相关产品的开发提供理论依据。

关键词: 红根草, 化学成分, 分离鉴定, 萜类化合物, 抗氧化活性

中图分类号: Q946　　**文献标识码**: A　　**文章编号**: 1000-3142(2026)08-1394-11

Chemical constituents from *Salvia prionitis* and their antioxidant activities

LI Shuyao[1,2], LI Guiqin[2], PANG Nao[1,2], WANG Yafeng[2], YANG Bingyuan[2],
GE Li[1], YANG Kedi[1], HUANG Yonglin[2], LIU Zhangbin[2*]

收稿日期: 2025-12-18　**接受日期**: 2026-01-22

基金项目: 广西植物研究所基本科研业务费资助项目(桂植业 25008); 广西植物功能物质与资源持续利用重点实验室主任基金项目(ZRJJ2024-1); 广西自然科学基金项目(20205GXNSFBA069156)。

第一作者: 李姝瑶(2001—),硕士研究生,研究方向为天然药物化学,(E-mail)1695461363@qq.com。

* **通信作者**: 刘章彬,博士,助理研究员,研究方向为天然产物化学及开发利用,(E-mail)lzb@gxib.cn。

(1. *Medical College*, *Guangxi University*, Nanning 530004, China; 2. *Guangxi Key Laboratory of Plant Functional Phytochemicals and Sustainable Utilization*, *Guangxi Institute of Botany*, *Guangxi Zhuang Autonomous Region and Chinese Academy of Sciences*, Guilin 541006, Guangxi, China)

Abstract: To study the constituents from *Salvia prionitis* and their antioxidant activities, the ethyl acetate fraction of *S. prionitis* was separated and purified using MCI, silica gel, ODS, HW-40F, and high-performance liquid chromatography (HPLC) in this study. The structures of obtained compounds were determined comprehensively employing spectroscopic data (1D-/2D-NMR, HR-MS, CD) and chemical calculations. The antioxidant capacities were evaluated using the 1, 1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) free radical scavenging assay. The results were as follows: (1) Seventeen compounds were identified as 3-hydroxysalvinolone (**1**), salvinolone (**2**), salviadesertin J (**3**), 5α, 11, 12-trihydroxy-6-oxaabieta-8, 11, 13-trien-7-one (**4**), hinokiol (**5**), perovskin C (**6**), 4-hydroxysapriparaquinone (**7**), prineoparaquinone (**8**), miltiolactone (**9**), 2α,3α-dihydroxyursolic acid 28-*O*-β-D-glucopyranosyl ester (**10**), 19α-hydroxyasiatic acid (**11**), oleanolic acid (**12**), hesperidin (**13**), isoquercitrin (**14**), rutin (**15**), kaempferol-3-*O*-β-D-glucoside (**16**), and kaempferol-3-*O*-rutinoside (**17**). Compound **1** was identified as a new compound. The compounds **4**, **6**, **10**, **11**, **13**, and **17** were isolated for the first time from the genus *Salvia* plants, while compounds **3** and **9** were obtained for the first time from *S. prionitis*. (2) The results of the DPPH free radical scavenging assay showed that compounds **14** [IC_{50} = (0.009 2±0.000 06) mmol · L^{-1}] and **15** [IC_{50} = (0.013 2±0.000 06) mmol · L^{-1}] exhibited stronger antioxidant activities than the positive control [ascorbic acid, IC_{50} = (0.044 2±0.000 46) mmol · L^{-1}]. This study provides a theoretical basis for development of anti-oxidant-related products from *S. prionitis*.

Key words: *Salvia prionitis*, chemical constituents, separation and identification, terpenoids, antioxidant activity

红根草(*Salvia prionitis*)为唇形科(Lamiaceae)鼠尾草属(*Salvia* L.)一年生草本植物,广泛分布于中国南部地区(魏宇昆等,2015)。其民间药用最早系统记载于《广西本草选编》(广西壮族自治区革命委员会卫生局,1974),描述了植物形态、地理分布及治疗各类炎症的应用。《中国植物志》亦记载“广西用全草入药,主治感冒、腹泻、腹痛、痢疾”(中国科学院中国植物志委员会,1977)。现有研究表明,红根草主要含有二萜类(汤楚明,2023)、三萜类(陈兴广,2021)、酚酸类(蒋永俊,2015)、黄酮类(霍华珍,2018)等化学成分(Wu et al., 2012;赵飞亚等,2024)。其中,文献报道较多的二萜类成分结构新颖多样并具有多种药理活性,如松香烷型二萜表现出较好的抗炎(孔庆新等,2018)、抗肿瘤(耿慧春,2013)和抗氧化(Kabouche et al., 2007)活性,克罗烷型二萜具有镇痛、抗炎与神经保护作用(吴广喜等,2016),异烯萜烷型二萜具有抗肿瘤(Esquivel et al., 2017)、抗炎(Li et al., 2019)、镇痛(Xia et al., 2022)等作用,二萜醌类具有抑制新生血管生长、抗菌和抗肿瘤(Lang et al., 2005)的作用。

红根草药用价值高,但是因野生资源被盗采而面临资源枯竭的问题。同时,因为红根草与丹参同属荔枝草组植物在成药方面蕴含巨大的市场潜力及经济价值,所以吸引了众多研究人员关注。目前,国内外对红根草的研究多为物质基础中的二萜类成分及其抗肿瘤活性,对红根草其他类型成分及相关活性研究较少。当前市面上销售的复方红根草片主治咽炎,而现代药理学研究表明,炎症反应与氧化应激密切相关,活性氧(reactive oxygen species,ROS)过量积累引发的氧化损伤是炎症发生发展的关键机制之一(夏世金等,2014),然而对于红根草抗氧化方面的研究鲜有报道。为进一步丰富红根草的物质基础及探究其抗氧化活性,本研究以江西的红根草为研究对象,采用硅胶、ODS 及高效液相色谱(high-performance liquid chromatography,HPLC)等色谱分离技术对其乙酸乙酯萃取物进行分离纯化,并结合体外抗氧化活性评价模型对所得化合物进行活性筛选,拟探究以下问题:(1)红根草的化学成分;(2)分离得到的化合物的抗氧化活性及构效关系。

1　材料与方法

1.1 材料、仪器和试剂

材料:实验材料采自江西上饶市(采收时间为2016 年 11 月),经广西壮族自治区中国科学院广

西植物研究所蒋水元研究员鉴定为唇形科鼠尾草属红根草。标本(编号 20161114-2)存放于广西植物功能物质研究与资源持续利用重点实验室。

仪器:Bruker Advance 500 MHz 超导核磁共振波谱仪(德国布鲁克公司);超高效液相色谱-电喷雾-质谱联用仪 UPLC-ESI-MS(日本岛津公司);制备液相色谱仪[赛谱锐思(北京)科技有限公司];Agilent ZORBAX SB-C_{18} 色谱柱(9.4 mm × 250 mm, 5 μm, 安捷伦科技有限公司);LC-20AT 高效液相色谱仪(日本岛津公司);SP-Max 3500FL 型多功能荧光酶标仪(上海闪谱生物科技公司)。

试剂:Diaion HP 20SS(日本三菱化学株式会社);反相十八烷基硅烷键合硅胶 ODS(日本 YMC 公司);Toyopearl HW-40F(日本 TOSOH 公司);硅胶(200~300 目,青岛海洋化工厂);F_{254} 硅胶薄层板(德国默克公司);抗坏血酸(西陇化工厂有限公司);2,2-联苯基-1-苦基肼基(上海麦克林生化科技股份有限公司);高效液相所用试剂为乙腈(美国赛默飞科技公司)和纯净水(娃哈哈集团有限公司);其他所用试剂均为分析纯(西陇科学股份有限公司)。

1.2 方法

1.2.1 *提取和分离* 将干燥的红根草(全草)10 kg 进行粉碎,用 95%乙醇室温浸泡提取 3 次,每次 5 d, 合并提取液减压浓缩得到浸膏 315.6 g。浸膏加水悬浮并用乙酸乙酯萃取 3 次,萃取液浓缩得到乙酸乙酯萃取部分 213.2 g。将乙酸乙酯萃取部分进一步经大孔吸附树脂层析柱分离,用 30%、50%、80%和 95%乙醇-水溶液梯度洗脱,各洗脱液经减压浓缩后得到 4 个相应部分 A(6.5 g)、B(4.7 g)、C(122.4 g)、D(72.8 g)。

D 部分经 MCI 柱色谱分离,甲醇-水(0→100%,*V*/*V*,10%梯度,下同)梯度洗脱,各梯度洗脱液分别减压浓缩后得到 11 个部分 Fr.1-Fr.11。Fr.1(3.1 g)经 ODS 柱色谱分离,甲醇-水(0→100%)梯度洗脱,硅胶薄层色谱(thin-layer chromatography, TLC)检测后合并相同组分浓缩得到 7 个部分 Fr.1-1-Fr.1-7。Fr.1-5(0.75 g)经 Diaion HP 20SS 柱色谱分离,甲醇-水(5%→100%)梯度洗脱,TLC 检测合并浓缩得到 Fr.1-5-1-Fr.1-5-9。Fr.1-5-6(0.344 g)经 ODS 柱色谱分离,甲醇-水(0→100%)梯度洗脱,TLC 检测合并浓缩后得到 Fr.1-5-6-1-Fr.1-5-6-3。Fr.1-5-6-2(100 mg)经 HW-40F 柱色谱分离纯化得到化合物 **14**(27 mg)、化合物 **15**(6.7 mg)和化合物 **17**(25 mg)。Fr.1-5-7(0.229 g)经重结晶析出得到化合物 **13**(7 mg)。Fr.1-5-7(0.229 g)经 ODS 柱色谱分离纯化得到化合物 **16**(43 mg)。

Fr.3(53 g)经硅胶柱色谱分离,石油醚-乙酸乙酯(20∶1→1∶1)梯度洗脱,TLC 检测合并浓缩后得到 18 个部分 Fr.3-1-Fr.3-18。Fr.3-9(0.826 g)经硅胶柱色谱(石油醚∶乙酸乙酯,20∶1→1∶1)梯度洗脱得到 15 个馏分(Fr.3-9-1-Fr.3-9-15)。Fr.3-9-7(142 mg)经反相制备柱 C_{18}纯化得到化合物 **6**(1.4 mg)。Fr.3-13(1.074 g)经反相制备柱 C_{18}(50%乙腈-水)分离得到化合物 **2**(8 mg)、**4**(30 mg)和 **7**(17 mg)。Fr.3-15(2.003 g)经反相制备柱 C_{18}(50%乙腈-水)纯化得到化合物 **5**(5 mg)、**8**(33 mg)和 **9**(48 mg)。Fr.3-16(0.726 g)经反相制备柱 C_{18}(5%→55%乙腈-水)纯化得到化合物 **3**(7 mg)。Fr.3-18(32.3 g)经 Diaion HP 20SS 柱色谱(5%→100%甲醇-水)梯度洗脱分离得到 Fr.3-18-1-Fr.3-18-15。Fr.3-18-5(1.255 g)经 ODS 柱 60%甲醇-水洗脱得到化合物 **1**(201 mg)。Fr.3-18-6(1.752 g)经 ODS 柱色谱分离,65%甲醇-水洗脱得到 Fr.3-18-6-1-Fr.3-18-6-7。Fr.3-18-6-7(440 mg)经 Toyopearl HW-40F 色谱柱分离纯化得到化合物 **10**(1.2 mg)和 **11**(1.7 mg)。Fr.3-18-7(1.830 g)经 ODS 柱色谱分离,70%甲醇-水洗脱得到化合物 **12**(7 mg)。以上化合物结构具体见图 1。

1.2.2 *1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(1, 1-diphenyl-2-picrylhydrazyl,DPPH)自由基清除活性测定* DPPH 自由基清除法测试抗氧化活性参考王亚凤(2016)和岩孔卜等(2021)的方法,并对其进行适当调整。以抗坏血酸为阳性对照组,色谱甲醇为溶剂系统,将 DPPH 配制成 0.15 mmol · L^{-1};准确称量样品,溶于色谱甲醇,配置成不同质量浓度的溶液。实验设置样品组、对照组和空白组。按表 1 的反应体系进行活性测试,具体步骤如下。按表 1 所示体积,依次向 96 孔板中加入相应溶液,室温下避光反应 30 min 后使用酶标仪于 517 nm 波长下测定各孔的吸光度值(A)。按如下公式计算清除率:清除率(%) = $[1-(A_1-A_2)/A_0]\times100$。其中,$A_1$、$A_2$和 A_0分别为样品组、对照组和空白组的吸光度值。每个样品均设 3 个复孔进行平行测定,所有实验均独立重复 3 次。使用 Excel 2016 软件绘图以及 GraphPad Prism 8.0.2 软件进行单因素方差分析以评估组间差异的显著性。测试结果以平均值±标准偏差表示。

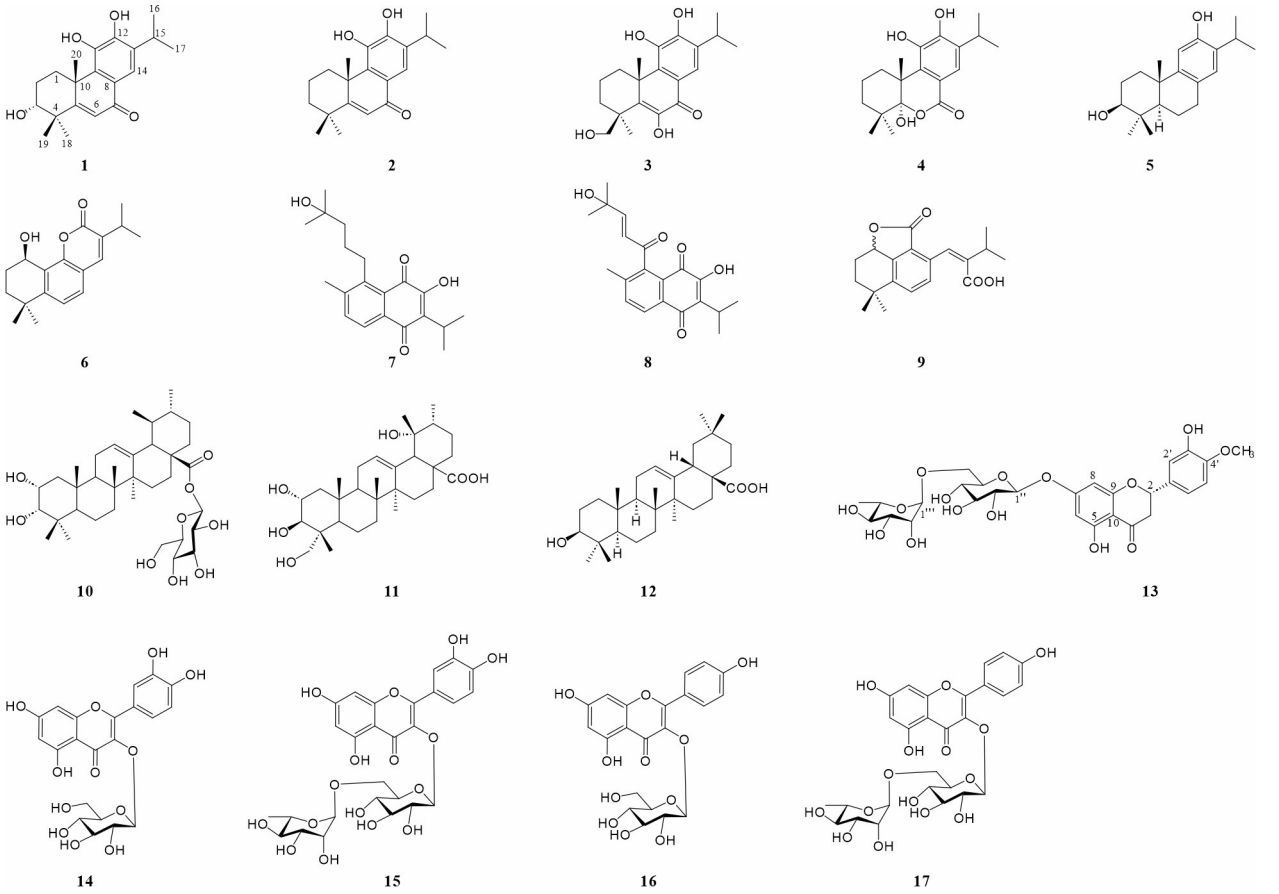

图 1　化合物 1–17 的结构式

Fig. 1　Structures of compounds **1–17**

表 1　DPPH 自由基清除测试反应体系

Table 1　DPPH free radical scavenging test reaction system

试剂 Reagent	样品组 Sample group (μL)	对照组 Control group (μL)	空白组 Blank group (μL)
样品 Sample	100	100	—
DPPH	100	—	100
甲醇 Methanol	—	100	100

2　结果与分析

2.1 化合物的结构鉴定

化合物 **1**　红褐色固体，HR-ESI-MS *m/z*：329.175 6 [M−H]$^-$（calcd for $C_{20}H_{25}O_4$，329.175 8），推测其分子式为 $C_{20}H_{26}O_4$，不饱和度为 8。$[\alpha]_D^{25}$ −470.0（*c* 0.1 MeOH）。UV（MeOH）λ_{max}（logε）：229（2.86），305（2.45）。$IR_{\nu max}^{KBr}$ cm^{-1}：3 426（羟基），2 930（亚甲基），1 638（苯环），1 006。^{1}H-NMR结果表明，化合物中含有苯环［δ_H 7.61（1H，s，H-14）］、烯烃［δ_H 6.44（1H，s，H-6）］、3 个甲基［δ_H 1.67（3H，s，H-20），1.34（3H，s，H-18），1.29（3H，s，H-19）］、1 个异丙基［δ_H 1.26（3H，d，*J* = 6.9 Hz，H-17），1.23（3H，d，*J* = 6.9 Hz，H-16），3.26（1H，sept，*J* = 6.9 Hz，H-15）］。^{13}C-NMR 结果显示 20 个碳信号，包括 1 个羰基碳（δ_C 187.9）、1 个烯烃碳（δ_C 124.6）、5 个甲基、2 个亚甲基、3 个次甲基及 8 个季碳（含 5 个芳香碳）。结合不饱和度及相关^{1}H-NMR 和^{13}C-NMR 表明化合物具有三环骨架结构。通过与已知化合物 **2**（Dang et al.，2018）的数据对比分析，二者基本一致，表明化合物 **1** 同为 6/6/6 松香烷二萜骨架（表 2）。二者不同之处为化合物 **1**（$\delta_{C\text{-}3}$ 78.0）较化

合物 **2**(δ_{C-3} 41.6)化学位移向低场移动,表明化合物 **1** 的 C-3 连有-OH,因而确定了化合物 **1** 的平面结构(图 2)。通过 NOESY 谱中 H-3/H-18、H-19/H-20 相关,推定其相对构型为(3*R*,10*S*)或(3*S*,10*R*),后采用密度泛函理论(density functional theory,DFT)在 B3LYP/6-31G (d, p) 基组水平下,分别计算了(3*S*, 10*R*)与(3*R*, 10*S*)两种构型在甲醇溶剂中的电子圆二色(electronic circular dischroism,ECD)。结果(图 3)显示,通过(3*R*,10*S*)构型计算的 ECD 谱图与实验 ECD 谱图高度吻合,因此确定化合物 **1** 的立体构型为(3*R*,10*S*);并将其命名为 3-hydroxysalvinolone。

化合物 **2** 黄色粉末,HR-ESI-MS *m/z*: 313.181 0 [M - H]$^-$ (calcd for $C_{20}H_{25}O_3$, 313.180 9),分子式为 $C_{20}H_{26}O_3$。^{1}H-NMR 和 ^{13}C-NMR 数据见表 2。相关数据与文献(Dang et al., 2018)报道的基本一致,故鉴定化合物 **2** 为丹参酚酮(salvinolone)。

化合物 **3** 白色粉末,HR-ESI-MS *m/z*: 345.170 8 [M - H]$^-$ (calcd for $C_{20}H_{25}O_5$, 345.170 7),分子式为 $C_{20}H_{26}O_5$。^{1}H-NMR (500 MHz, CD_3OD) δ: 7.62 (1H, s, H-14), 4.14 (1H, d, *J* = 10.8 Hz, H_α-19), 3.67 (1H, d, *J* = 10.8 Hz, H_β-19), 3.26 (2H, m, H_β-1, H-15), 2.33 (1H, m, H_β-3), 1.96 (1H, m, H_β-2), 1.76 (1H, m, H_α-2), 1.68 (3H, s, H-20), 1.53 (1H, m, H_α-1), 1.39 (3H, s, H-18), 1.31 (1H, m, H_α-3), 1.26 (3H, d, *J* = 7.9 Hz, H-17), 1.24 (3H, d, *J* = 6.9 Hz, H-16); ^{13}C-NMR (125 MHz, CD_3OD) δ: 29.6 (C-1), 17.4 (C-2), 31.3 (C-3), 43.7 (C-4), 142.1 (C-5), 143.9 (C-6), 181.8 (C-7), 121.8 (C-8), 140.1 (C-9), 41.8 (C-10), 144.4 (C-11), 149.3 (C-12), 135.8 (C-13), 116.7 (C-14), 27.9 (C-15), 23.1 (C-16), 23.2 (C-17), 69.4 (C-18), 22.4 (C-19), 26.2 (C-20)。以上数据与文献(Kadir et al., 2021)报道的基本一致,故鉴定化合物 **3** 为 salviadesertin J。

化合物 **4** 白色粉末,HR-ESI-MS *m/z*: 333.171 5 [M - H]$^-$ (calcd for $C_{19}H_{25}O_5$, 333.170 7),分子式为 $C_{19}H_{26}O_5$。^{1}H-NMR (500 MHz, CD_3OD) δ: 7.23 (1H, s, H-14), 3.28 (1H, m, H-15), 2.41 (1H, dd, *J* = 12.4, 3.1 Hz, H_β-1), 1.62 (2H, m, H-2), 1.57 (3H, s, H-20), 1.44 (1H, m, H_α-1), 1.37 (2H, m, H-3), 1.26 (3H, s, H-19), 1.22 (3H, d, *J* = 7.1 Hz, H-16), 1.20 (3H, d, *J* = 7.1 Hz, H-17), 1.18 (3H, s, H-18); ^{13}C-NMR (125 MHz, CD_3OD) δ: 39.9 (C-1), 18.8 (C-2), 39.1 (C-3), 39.0 (C-4), 115.3 (C-5), 171.0 (C-7), 120.2 (C-8), 139.1 (C-9), 51.8 (C-10), 145.2 (C-11), 144.2 (C-12), 135.3 (C-13), 122.3 (C-14), 28.0 (C-15), 23.0 (C-16), 22.9 (C-17), 25.1 (C-18), 26.9 (C-19), 17.9 (C-20)。以上数据与文献(Wahab et al., 2011)报道的基本一致,故鉴定化合物 **4** 为 5α,11,12-trihydroxy-6-oxaabieta-8,11,13-trien-7-one。

化合物 **5** 黄色粉末,HR-ESI-MS *m/z*: 303.232 7 [M + H]$^+$ (calcd for $C_{20}H_{31}O_2$, 303.231 9),分子式为 $C_{20}H_{30}O_2$。^{1}H-NMR (500 MHz, CD_3OD) δ: 6.75 (1H, s, H-14), 6.62 (1H, s, H-11), 3.23 (1H, dd, *J* = 11.3, 4.9 Hz, H-3), 3.16 (1H, m, H-15), 2.82 (1H, dd, *J* = 16.5, 6.1 Hz, H_β-7), 2.72 (1H, m, H_α-7), 2.24 (1H, dt, *J* = 12.9, 3.5 Hz, H_β-1), 1.73 (2H, m, H-2), 1.47 (1H, m, H_α-1), 1.17 (3H, d, *J* = 5.8 Hz, H-17), 1.16 (3H, s, H-20), 1.16 (3H, d, *J* = 5.8 Hz, H-16), 1.05 (3H, s, H-19), 0.87 (3H, s, H-18); ^{13}C-NMR (125 MHz, CD_3OD) δ: 38.5 (C-1), 28.8 (C-2), 79.6 (C-3), 40.0 (C-4), 51.7 (C-5), 20.3 (C-6), 31.2 (C-7), 133.5 (C-8), 144.5 (C-9), 39.2 (C-10), 111.7 (C-11), 156.9 (C-12), 126.7 (C-13), 127.2 (C-14), 27.7 (C-15), 23.2 (C-16), 23.1 (C-17), 28.8 (C-18), 25.3 (C-19), 16.1 (C-20)。以上数据与文献(Ryu et al., 2010)报道的基本一致,故鉴定化合物 **5** 为桧醇(hinokiol)。

化合物 **6** 黄色粉末,HR-ESI-MS *m/z*: 309.146 0 [M + Na]$^+$ (calcd for $C_{18}H_{22}O_3Na$, 309.146 1),分子式为 $C_{18}H_{22}O_3$。^{1}H-NMR (500 MHz, CD_3OD) δ: 7.71 (1H, d, *J* = 1.2 Hz, H-14), 7.52 (1H, d, *J* = 8.2 Hz, H-7), 7.39 (1H, d, *J* = 8.2 Hz, H-6), 5.28 (1H, t, *J* = 3.4 Hz, H-1), 3.05 (1H, m, H-15), 1.99 (2H, m, H-2), 2.15 (1H, m, H-3a), 1.56 (1H, dt, *J* = 13.3, 3.4 Hz, H-3b), 1.41 (3H, s, H-18), 1.28

表 2　化合物 1 和 2 的 ^{1}H-NMR 和 ^{13}C-NMR(500/125 MHz, CD_3OD)数据

Table 2　^{1}H-NMR and ^{13}C-NMR (500/125 MHz, CD_3OD) data of compounds **1** and **2**

位置 Position	化合物 **1** Compound **1**		化合物 **2** Compound **2**	
	H 化学位移 δ_H (ppm)	C 化学位移 δ_C (ppm)	H 化学位移 δ_H (ppm)	C 化学位移 δ_C (ppm)
1	3.55 (1H, dt, J = 13.9, 3.5 Hz) 1.32 (1H, m)	32.0	3.47 (1H, dt, J = 13.7, 3.6 Hz) 1.37 (1H, m)	35.4
2	2.03 (1H, br. dd, J = 13.6, 4.2 Hz) 1.82 (1H, ddd, J = 13.6, 3.5 Hz)	27.9	2.02 (1H, m) 1.62 (1H, dt, J = 14.2, 4.5 Hz)	19.6
3	3.32 (1H, m)	78.0	1.78 (1H, dt, J = 13.4, 3.7 Hz) 1.47 (1H, dd, J = 12.7, 3.5 Hz)	41.6
4	—	45.3	—	39.1
5	—	176.4	—	178.3
6	6.44 (1H, s)	124.6	6.39 (1H, s)	124.0
7	—	187.9	—	187.9
8	—	123.8	—	123.9
9	—	139.0	—	139.7
10	—	43.4	—	43.8
11	—	144.0	—	143.9
12	—	149.0	—	148.9
13	—	135.8	—	135.7
14	7.61 (1H, s)	116.4	7.62 (1H, s)	116.4
15	3.26 (1H, sept, J = 6.9 Hz)	27.9	3.26 (1H, sept, J = 6.9 Hz)	25.3
16	1.23 (3H, d, J = 6.9 Hz)	23.2	1.25 (3H, d, J = 6.9 Hz)	23.2
17	1.26 (3H, d, J = 6.9 Hz)	23.0	1.25 (3H, d, J = 6.9 Hz)	23.1
18	1.34 (3H, s)	23.2	1.39 (3H, s)	27.9
19	1.29 (3H, s)	28.7	1.28 (3H, s)	29.9
20	1.67 (3H, s)	24.6	1.69 (3H, s)	33.6

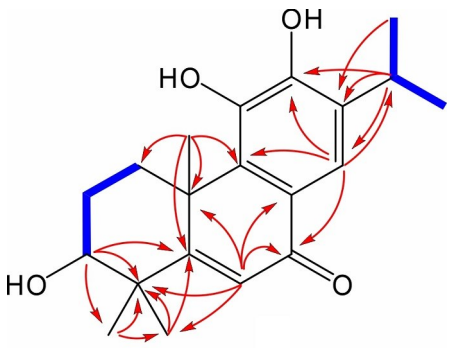

图 2　化合物 1 的关键 ^{1}H-^{1}H COSY (▬) and HMBC (→)

Fig. 2　Key ^{1}H-^{1}H COSY (▬) and HMBC (→) correlations of Compound **1**

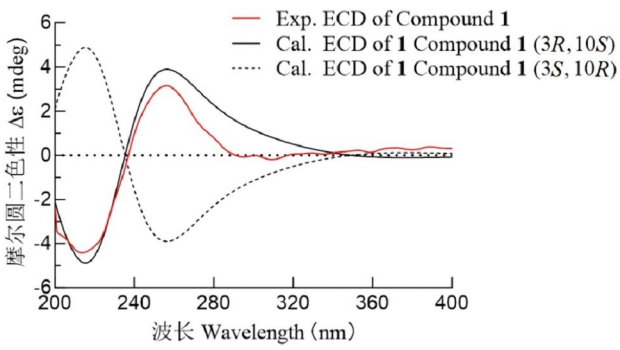

图 3　化合物 1 的实验和理论 ECD 光谱图

Fig. 3　Experimental and calculated ECD spectra of Compound **1**

(3H, d, J = 1.8 Hz, H-16), 1.26 (3H, d, J = 1.8 Hz, H-17), 1.25 (3H, s, H-19); ^{13}C-NMR (125 MHz, CD_3OD) δ: 61.6 (C-1), 28.5 (C-2), 33.4 (C-3), 37.3 (C-4), 151.1 (C-5), 123.9 (C-6), 128.2 (C-7), 120.4 (C-8), 151.2 (C-9), 142.3 (C-10), 162.4 (C-12), 131.2 (C-13), 138.4 (C-14), 29.9 (C-15), 21.7 (2C, C-16, C-17), 31.0 (C-18), 31.5 (C-19)。以上数据与文献(Sadeghi et al., 2023)报道的基本一致,故鉴定化合物**6**为 perovskin C。

化合物**7** 白色粉末, HR-ESI-MS m/z: 329.175 4 [M−H]$^-$(calcd for $C_{20}H_{25}O_4$, 329.175 8), 分子式为 $C_{20}H_{26}O_4$。^{1}H-NMR (500 MHz, CD_3OD) δ: 7.83 (1H, d, J = 7.8 Hz, H-7), 7.51 (1H, d, J = 7.9 Hz, H-6), 3.33 (1H, m, H-15), 3.12 (2H, t, J = 8.0 Hz, H-1), 2.42 (3H, s, H-20), 1.67 (2H, m, H-3), 1.56 (2H, m, H-2), 1.27 (6H, d, J = 7.2 Hz, H-16, H-17), 1.19 (6H, s, H-18, H-19); ^{13}C-NMR (125 MHz, CD_3OD) δ: 31.3 (C-1), 25.4 (C-2), 45.2 (C-3), 71.4 (C-4), 144.6 (C-5), 136.9 (C-6), 125.9 (C-7), 134.4 (C-8), 127.2 (C-9), 145.6 (C-10), 184.4 (C-11), 156.5 (C-12), 128.1 (C-13), 186.3 (C-14), 25.6 (C-15), 20.2 (2C, C-16, C-17), 29.2 (2C, C-18, C-19), 20.3 (C-20)。以上数据与文献(Lin et al., 1989)报道的基本一致,故鉴定化合物**7**为 4-羟基红根草对醌(4-hydroxysapriparaquinone)。

化合物**8** 黄色粉末, HR-ESI-MS m/z: 341.139 1 [M − H]$^-$ (calcd for $C_{20}H_{21}O_5$, 341.139 4), 分子式为 $C_{20}H_{22}O_5$。^{1}H-NMR (500 MHz, CD_3OD) δ: 8.03 (1H, d, J = 7.8 Hz, H-7), 7.68 (1H, d, J = 7.9 Hz, H-6), 6.52 (1H, d, J = 16.2 Hz, H-2), 6.43 (1H, d, J = 16.2 Hz, H-3), 3.39 (1H, m, H-15), 2.26 (3H, s, H-20), 1.29 (3H, d, J = 7.0 Hz, H-17), 1.28 (3H, d, J = 7.0 Hz, H-16), 1.27 (3H, s, H-18), 1.25 (3H, s, H-19); ^{13}C-NMR (125 MHz, CD_3OD) δ: 200.7 (C-1), 128.6 (C-2), 157.4 (C-3), 71.0 (C-4), 140.6 (C-5), 137.4 (C-6), 129.4 (C-7), 132.7 (C-8), 128.5 (C-9), 141.4 (C-10), 182.4 (C-11), 156.1 (C-12), 128.0 (C-13), 185.5 (C-14), 25.8 (C-15), 20.2 (2C, C-16, C-17), 29.0 (2C, C-18, C-19), 19.0 (C-20)。以上数据与文献(Li et al., 2000)报道的基本一致,故鉴定化合物**8**为 prineoparaquinone。

化合物**9** 黄色固体, HR-ESI-MS m/z: 313.144 4 [M − H]$^-$ (calcd for $C_{19}H_{21}O_4$, 313.144 5), 分子式为 $C_{19}H_{22}O_4$。^{1}H-NMR (500 MHz, CD_3OD) δ: 7.50 (2H, s, H-6, H-7), 7.16 (1H, s, H-14), 5.25 (1H, dd, J = 11.7, 5.3 Hz, H-1), 2.78 (1H, m, H-15), 2.35 (1H, m, H-2a), 1.92 (2H, m, H-3), 1.58 (1H, dd, J = 10.5, 6.0 Hz, H-2b), 1.42 (3H, s, H-19), 1.22 (3H, d, J = 6.7 Hz, H-17), 1.21 (3H, d, J = 6.7 Hz, H-16), 1.18 (3H, s, H-18); ^{13}C-NMR (125 MHz, CD_3OD) δ: 79.6 (C-1), 27.3 (C-2), 38.1 (C-3), 35.5 (C-4), 149.4 (C-5), 131.7 (C-6), 130.1 (C-7), 135.1 (C-8), 123.5 (C-9), 143.5 (C-10), 172.2 (C-11), 173.4 (C-12), 145.8 (C-13), 122.1 (C-14), 34.5 (C-15), 21.7 (C-16), 21.8 (C-17), 31.8 (C-18), 31.0 (C-19)。以上数据与文献(Li et al., 2016)报道的基本一致,故鉴定化合物**9**为 miltiolactone。

化合物**10** 黄色粉末, HR-ESI-MS m/z: 635.414 8 [M + H]$^+$ (calcd for $C_{36}H_{59}O_9$, 635.415 4), 分子式为 $C_{36}H_{58}O_9$。^{1}H-NMR (500 MHz, CD_3OD) δ: 5.34 (1H, d, J = 8.1 Hz, H-1′), 5.26 (1H, m, H-12), 3.81 (1H, m, H-2), 3.68 (2H, m, H-6′), 3.50 (1H, d, J = 11.0 Hz, H-3), 2.23 (1H, d, J = 10.8 Hz, H-18), 1.29 (3H, d, J = 3.5 Hz, H-27), 1.12 (3H, s, H-25), 1.04 (3H, s, H-23), 0.96 (3H, d, J = 4.4 Hz, H-30), 0.89 (3H, d, J = 6.4 Hz, H-29), 0.83 (3H, s, H-24), 0.69 (3H, s, H-26); ^{13}C-NMR (125 MHz, CD_3OD) δ: 43.4 (C-1), 66.4 (C-2), 78.5 (C-3), 40.2 (C-4), 48.2 (C-5), 17.9 (C-6), 33.6 (C-7), 42.6 (C-8), 48.1 (C-9), 38.9 (C-10), 24.5 (C-11), 127.0 (C-12), 139.3 (C-13), 44.1 (C-14), 29.2 (C-15), 25.2 (C-16), 49.4 (C-17), 54.2 (C-18), 40.9 (C-19), 40.4 (C-20), 31.7 (C-21), 37.5 (C-22), 26.4 (C-23), 21.5 (C-24), 13.9 (C-25), 17.8 (C-26), 24.0 (C-27), 177.9 (C-28), 17.6 (C-29), 19.1 (C-30), 95.7 (C-1′), 71.1 (C-2′), 78.2 (C-3′), 69.7 (C-4′), 73.9 (C-5′), 62.5 (C-6′)。以上数据与文献(Yuan et al., 2019)报道的

基本一致，故鉴定化合物 **10** 为 2α，3α-dihydroxyursolic acid 28-*O*-β-D-glucopyranosyl ester。

化合物 **11**　黄色粉末，HR-ESI-MS *m/z*：503.338 1 [M−H]⁻（calcd for $C_{30}H_{47}O_6$，503.337 8），分子式为 $C_{30}H_{48}O_6$。^{1}H-NMR（500 MHz，CD_3OD）δ：5.29（1H，t，*J* = 3.8 Hz，H-12），3.69（1H，m，H-2），3.50（1H，d，*J* = 11.0 Hz，H_α-23），3.36（1H，d，*J* = 9.5 Hz，H-3），3.27（1H，d，*J* = 11.0 Hz，H_β-23），2.50（1H，s，H-18），1.35（3H，s，H-27），1.20（3H，s，H-29），1.03（3H，s，H-25），0.93（3H，d，*J* = 6.7 Hz，H-30），0.80（3H，s，H-26），0.70（3H，s，H-24）；^{13}C-NMR（125 MHz，CD_3OD）δ：47.9（C-1），69.7（C-2），78.3（C-3），44.1（C-4），48.2（C-5），19.2（C-6），33.5（C-7），41.1（C-8），48.7（C-9），39.0（C-10），24.7（C-11），129.2（C-12），140.1（C-13），42.7（C-14），29.6（C-15），26.6（C-16），48.8（C-17），55.1（C-18），73.6（C-19），43.0（C-20），27.3（C-21），39.0（C-22），66.4（C-23），13.8（C-24），17.5（C-25），17.5（C-26），24.9（C-27），182.3（C-28），27.1（C-29），16.6（C-30）。以上数据与文献（Zebiri et al.，2017）报道的基本一致，故鉴定化合物 **11** 为 19α-羟基积雪草酸（19α-hydroxyasiatic acid）。

化合物 **12**　白色粉末，HR-ESI-MS *m/z*：455.353 9 [M−H]⁻（calcd for $C_{30}H_{47}O_3$，455.353 1），分子式为 $C_{30}H_{48}O_3$。^{1}H-NMR（500 MHz，DMSO-d_6）δ：5.14（1H，br. s，H-12），4.28（1H，d，*J* = 5.0 Hz，3-OH），2.98（1H，m，H-3），2.72（1H，d，*J* = 11.5 Hz，H-18），1.09（3H，s，H-27），0.89（3H，s，H-30），0.87（6H，s，H-26，H-29），0.85（3H，s，H-25），0.71（3H，s，H-24），0.67（3H，s，H-23）；^{13}C-NMR（125 MHz，DMSO-d_6）δ：38.0（C-1），26.9（C-2），76.8（C-3），38.4（C-4），54.8（C-5），18.0（C-6），32.8（C-7），38.9（C-8），47.1（C-9），36.6（C-10），23.3（C-11），121.5（C-12），143.8（C-13），40.8（C-14），27.2（C-15），22.9（C-16），45.7（C-17），41.3（C-18），45.4（C-19），30.3（C-20），33.3（C-21），32.4（C-22），28.2（C-23），16.0（C-24），15.1（C-25），16.8（C-26），25.6（C-27），178.5（C-28），32.1（C-29），22.6（C-30）。以上数据与文献（隋月红，2016）报道的基本一致，故鉴定化合物 **12** 为齐墩果酸（oleanolic acid）。

化合物 **13**　白色粉末，HR-ESI-MS *m/z*：609.182 1 [M−H]⁻（calcd for $C_{28}H_{33}O_{15}$，609.182 5），分子式为 $C_{28}H_{34}O_{15}$。^{1}H-NMR（500 MHz，DMSO-d_6）δ：12.02（1H，s，5-OH），9.08（1H，s，3′-OH），6.94（1H，d，*J* = 4.6 Hz，H-5′），6.93（1H，d，*J* = 1.8 Hz，H-2′），6.90（1H，dd，*J* = 8.4，2.0 Hz，H-6′），6.14（1H，d，*J* = 2.1 Hz，H-8），6.12（1H，d，*J* = 2.1 Hz，H-6），5.50（1H，dd，*J* = 12.3，3.1 Hz，H-2），4.97（1H，d，*J* = 7.5 Hz，H-1″），4.52（1H，d，*J* = 1.7 Hz，H-1‴），3.77（3H，s，4′-OCH_3），3.14（1H，dd，*J* = 9.4，5.6 Hz，H_β-3），2.77（1H，dd，*J* = 17.2，3.3 Hz，H_α-3），1.08（3H，d，*J* = 6.1 Hz，H-6‴）；^{13}C-NMR（125 MHz，DMSO-d_6）δ：78.3（C-2），42.0（C-3），196.9（C-4），165.1（C-5），95.5（C-6），163.0（C-7），96.4（C-8），162.5（C-9），103.3（C-10），130.9（C-1′），112.1（C-2′），147.9（C-3′），146.4（C-4′），55.7（4′-OCH_3），114.1（C-5′），117.9（C-6′），99.4（C-1″），72.0（C-2″），75.5（C-3″），69.6（C-4″），76.2（C-5″），66.0（C-6″），100.6（C-1‴），70.7（C-2‴），70.2（C-3‴），72.9（C-4‴），68.3（C-5‴），17.8（C-6‴）。以上数据与文献（Owis et al.，2017）报道的基本一致，故鉴定化合物 **13** 为橙皮苷（hesperidin）。

化合物 **14**　黄色粉末，HR-ESI-MS *m/z*：463.087 3 [M−H]⁻（calcd for $C_{21}H_{19}O_{12}$，463.088 2），分子式为 $C_{21}H_{20}O_{12}$。^{1}H-NMR（500 MHz，CD_3OD）δ：7.70（1H，d，*J* = 2.3 Hz，H-2′），7.57（1H，dd，*J* = 8.5，2.2 Hz，H-6′），6.89（1H，d，*J* = 8.5 Hz，H-5′），6.39（1H，d，*J* = 2.1 Hz，H-8），6.20（1H，d，*J* = 2.1 Hz，H-6），5.21（1H，d，*J* = 7.6 Hz，H-1″）。以上数据与文献（钱景时等，2012）报道的基本一致，故鉴定化合物 **14** 为异槲皮苷（isoquercitrin）。

化合物 **15**　黄色粉末，HR-ESI-MS *m/z*：609.145 8 [M−H]⁻（calcd for $C_{27}H_{29}O_{16}$，609.146 1），分子式为 $C_{27}H_{30}O_{16}$。^{1}H-NMR（500 MHz，CD_3OD）δ：7.67（1H，d，*J* = 2.2 Hz，H-2′），7.61（1H，dd，*J* = 8.5，2.2 Hz，H-6′），6.91（1H，d，*J* = 8.5 Hz，H-5′），6.43（1H，d，*J* = 2.0 Hz，H-8），6.23（1H，d，*J* = 2.0 Hz，H-6），

5.07 (1H, d, J = 7.6 Hz, H-1″), 4.53 (1H, d, J = 1.6 Hz, H-1‴), 1.12 (3H, d, J = 6.3 Hz, H-6‴)。以上数据与文献(王雪晶等,2016)报道的基本一致,故鉴定化合物 **15** 为芦丁(rutin)。

化合物 **16** 淡黄色粉末,HR-ESI-MS m/z: 447.093 5 [M - H]$^-$ (calcd for $C_{21}H_{19}O_{11}$, 447.093 3),分子式为 $C_{21}H_{20}O_{11}$。^{1}H-NMR (500 MHz, CD_3OD) δ: 8.04 (2H, d, J = 8.4 Hz, H-2′, H-6′), 6.88 (2H, d, J = 8.5 Hz, H-3′, H-5′), 6.37 (1H, d, J = 1.9 Hz, H-8), 6.18 (1H, d, J = 1.9 Hz, H-6), 5.23 (1H, d, J = 7.0 Hz, H-1″); ^{13}C-NMR (125 MHz, CD_3OD) δ: 159.1 (C-2), 135.4 (C-3), 179.4 (C-4), 162.8 (C-5), 99.9 (C-6), 165.8 (C-7), 94.8 (C-8), 158.4 (C-9), 105.7 (C-10), 122.7 (C-1′), 132.3 (C-2′), 116.1 (C-3′), 161.5 (C-4′), 116.1 (C-5′), 132.3 (C-6′), 104.2 (C-1″), 75.7 (C-2″), 77.9 (C-3″), 71.3 (C-4″), 78.3 (C-5″), 62.6 (C-6″)。以上数据与文献(周旭东等,2013)报道的基本一致,故鉴定化合物 **16** 为山奈酚-3-*O*-*β*-D-葡萄糖苷(kaempferol-3-*O*-*β*-D-glucoside)。

化合物 **17** 淡黄色粉末,HR-ESI-MS m/z: 593.150 8 [M - H]$^-$ (calcd for $C_{27}H_{29}O_{15}$, 593.151 2),分子式为 $C_{27}H_{30}O_{15}$。^{1}H-NMR (500 MHz, CD_3OD) δ: 8.06 (2H, d, J = 9.0 Hz, H-2′, H-6′), 6.89 (2H, d, J = 8.9 Hz, H-3′, H-5′), 6.38 (1H, s, H-8), 6.19 (1H, s, H-6), 5.12 (1H, d, J = 7.3 Hz, H-1″), 4.52 (1H, d, J = 1.8 Hz, H-1‴), 1.13 (3H, d, J = 6.3 Hz, H-6‴); ^{13}C-NMR (125 MHz, CD_3OD) δ: 159.4 (C-2), 135.5 (C-3), 179.4 (C-4), 163.0 (C-5), 100.0 (C-6), 166.0 (C-7), 94.9 (C-8), 158.5 (C-9), 105.6 (C-10), 122.7 (C-1′), 132.4 (C-2′), 116.1 (C-3′), 161.5 (C-4′), 116.1 (C-5′), 132.4 (C-6′), 104.6 (C-1″), 75.8 (C-2″), 78.1 (C-3″), 71.4 (C-4″), 77.2 (C-5″), 68.6 (C-6″), 102.4 (C-1‴), 72.3 (C-2‴), 72.1 (C-3‴), 73.9 (C-4‴), 69.7 (C-5‴), 17.9 (C-6‴)。以上数据与文献(钱景时等,2012)报道的基本一致,故鉴定化合物 **17** 为山奈酚-3-*O*-芸香糖苷(kaempferol-3-*O*-rutinoside)。

2.2 DPPH 自由基清除能力测试结果

DPPH 自由基清除能力测试结果显示,化合物 **14** 和 **15** 具有较强的抗氧化活性,IC_{50} 值分别为 (0.009 2±0.000 06) mmol · L^{-1} 和 (0.013 2±0.000 06) mmol · L^{-1},均优于阳性对照[抗坏血酸,IC_{50} = (0.044 2±0.000 46) mmol · L^{-1}]。具体活性测试结果见表 3。

表 3 DPPH 自由基清除能力测试结果

Table 3 Results of DPPH free radical scavenging ability

化合物 Compound	IC_{50} (mmol · L^{-1})	化合物 Compound	IC_{50} (mmol · L^{-1})
1	0.092 9±0.000 12 ****	**13**	>0.2
2	0.047 5±0.000 78 **	**14**	0.009 2±0.000 06 ****
4	0.103 1±0.001 05 ****	**15**	0.013 2±0.000 06 ****
7	0.653 6±0.002 15 ****	**16**	0.088 2±0.000 49 ****
8	0.431 3±0.001 80 ****	**17**	0.108 4±0.000 80 ****
9	>3.2	抗坏血酸[a] Ascorbic acid[a]	0.044 2±0.000 46
12	>0.2		

注:[a]表示阳性对照;与阳性对照相比, ** 表示 P<0.01, **** 表示 P<0.0001。

Note: [a] indicates the positive control; compared with the positive control, ** indicates P<0.01, and **** indicates P<0.0001。

3 讨论与结论

本研究采用系统的色谱分离技术从红根草全草中分离鉴定出 17 个化合物,包括二萜类(**1-9**)、三萜类(**10-12**)及黄酮苷类(**13-17**)。其中,化合物 **1** 为新二萜;化合物 **4**、**6**、**10**、**11**、**13** 和 **17** 为首次从鼠尾草属植物中分离得到;化合物 **3** 和 **9** 为首

次从该植物中分离得到。综上所述，这些结果进一步丰富了红根草的化学成分，也为鼠尾草属植物的化学多样性研究提供了新依据。

抗氧化活性结果显示，黄酮苷类成分的活性优于萜类化合物，表明黄酮类物质是红根草发挥抗氧化作用的关键活性组分。该结果与黄酮类化合物普遍具备的共轭体系结构特性密切相关，其抗氧化机理为黄酮类化合物中 B 环上羟基经解离后，羟基中氧原子（O）的电子离域至 C 环双键与 B 环形成的大 π 键共轭体系中，进而形成稳定的半醌式结构，该过程使得解离出的氢原子（H）易与自由基反应，从而抑制或终止自由基与脂质物质的氧化反应，最终实现抗氧化功能（杜春芳，2011）。此外，黄酮类物质抗氧化活性强弱顺序为 **14** > **15** > **16** > **17**，对比化合物 **14** / **16**、**15** / **17**，前者因多一个酚羟基，抗氧化活性增强约 10 倍，其原因推测为 B 环中的邻位羟基与氧原子形成分子内氢键，使其结构更加稳定，可持续参与自由基清除反应（杜春芳，2011）。然而，对比化合物 **14** / **15**、**16** / **17**，后者较前者多一个糖基（即醇羟基数量增加），活性略微降低，同样，二萜类成分中化合物 **1** 较 **2** 多引入一个醇羟基时活性也降低。因此，该结果表明醇羟基对黄酮类、萜类化合物具有降低抗氧化活性的作用，推测其机理为醇羟基的引入降低了化合物的脂水分配系数（Rothwell et al., 2005），使其亲脂性降低，促使自由基更容易与脂质物质反应。

综上所述，本研究不仅印证了酚羟基数量对提升抗氧化活性的积极作用（张朋朋等，2024），而且还揭示了酚羟基与醇羟基在抗氧化功能上的差异性贡献，并基于实验结果对其潜在作用机制进行了合理推测。因此，本研究为基于红根草的高抗氧化活性中药制剂研发、氧化应激相关疾病（如心血管疾病、神经退行性疾病）的预防与辅助治疗药物探索提供了重要参考，同时也为化妆品行业抗衰老、美白等抗氧化产品的活性物质衍生化开发提供了方向。

参考文献：

Chen X G, 2021. Studies on the components of *Salvia prionitis* Hance of Zhuang Ethnic Medicine [D]. Nanning: Guangxi University of Chinese Medicine. [陈兴广, 2021. 壮药红根草化学成分研究 [D]. 南宁: 广西中医药大学.]

Dang J, Cui Y L, Pei J J, et al., 2018. Efficient separation of four antibacterial diterpenes from the roots of *Salvia prattii* using non-aqueous hydrophilic solid-phase extraction followed by preparative high-performance liquid chromatography [J]. Molecules, 23(3): 623.

Du C F, 2011. Antioxidant activity mechanism studies on medicinal plants flavones [D]. Zhengzhou: Zhengzhou University. [杜春芳, 2011. 药用植物中黄酮类化合物的抗氧化机理研究 [D]. 郑州: 郑州大学.]

Editorial Committee of Flora of China, Chinese Academy of Sciences, 1977. Flora Reipublicae Popularis Sinicae: Vol. 66 [M]. Beijing: Science Press: 70-79. [中国科学院中国植物志委员会, 1977. 中国植物志: 第 66 卷 [M]. 北京: 科学出版社: 70-79.]

Esquivel B, Bustos-Brito C, Sanchez-Castellanos M, et al., 2017. Structure, absolute configuration, and antiproliferative activity of abietane and icetexane diterpenoids from *Salvia ballotiflora* [J]. Molecules, 22(10): 1690.

Geng H C, 2013. Synthetic study of Salviyunnanone and related researches [D]. Beijing: University of Chinese Academy of Sciences. [耿慧春, 2013. 云南鼠尾草酮 Salviyunnanone 的合成及相关研究 [D]. 北京: 中国科学院大学.]

Health Bureau of the Guangxi Zhuang Autonomous Region Revolutionary Committee, 1974. Selections of Guangxi Materia Medica [M]. Nanning: Guangxi People's Publishing House: 1928-1929. [广西壮族自治区革命委员会卫生局, 1974. 广西本草选编 [M]. 南宁: 广西人民出版社: 1928-1929.]

Huo H Z, 2018. Studies on the chemical constituents of *Salvia prionitis* Hance [D]. Guilin: Guangxi Normal University. [霍华珍, 2018. 红根草化学成分研究 [D]. 桂林: 广西师范大学.]

Jiang Y J, 2015. Studies on the chemical constituents of two *Slavia* plants [D]. Kunming: Kunming University of Science and Technology. [蒋永俊, 2015. 两种鼠尾草属植物的化学成分研究 [D]. 昆明: 昆明理工大学.]

Kabouche A, Kabouche Z, Öztürk M, et al., 2007. Antioxidant abietane diterpenoids from *Salvia barrelieri* [J]. Food Chemistry, 102(4): 1281-1287.

Kadir A, Zheng G J, Zheng X F, et al., 2021. Structurally diverse diterpenoids from the roots of *Salvia deserta* based on nine different skeletal types [J]. Journal of Natural Products, 84(5): 1442-1452.

Kong Q X, Dong F, Li S Y, et al., 2018. Study on the anti-inflammatory effect and mechanism of *Salvia plebeia* R. Br. Ethyl acetate extract on LPS-induced RAW246.7 cell [J]. Immunological Journal, 34(9): 744-750. [孔庆新, 东方, 李思阳, 等, 2018. 荔枝草乙酸乙酯提取物对 LPS 诱导的 RAW264.7 细胞抗炎作用及相关机制研究 [J]. 免疫学杂志, 34(9): 744-750.]

Lang J Y, Chen H, Zhou J, et al., 2005. Antimetastatic effect of salvicine on human breast cancer MDA-MB-435 orthotopic xenograft is closely related to rho-dependent pathway [J]. Clinical Cancer Research, 11(9): 3455-3464.

Li L N, Liu X Q, Zhu D R, et al., 2019. Officinalins A and B, a pair of C_{23} terpenoid epimers with a tetracyclic 6/7/5/5 system from *Salvia officinalis* [J]. Organic Chemistry

Frontiers, 6(19): 3369-3373.

Li L Z, Liang X, Sun X, et al., 2016. Bioactive norditerpenoids and neolignans from the roots of *Salvia miltiorrhiza* [J]. Organic & Biomolecular Chemistry, 14(42): 10050-10057.

Li M, Zhang J S, Ye Y M, et al., 2000. Constituents of the roots of *Salvia prionitis* [J]. Journal of Natural Products, 63(1): 139-141.

Lin L Z, Blaskó G, Cordell G A, 1989. Diterpenes of *Salvia prionitis* [J]. Phytochemistry, 28(1): 177-181.

Owis A I, Abo-Youssef A M, Osman A H, 2017. Leaves of *Cordia boissieri* A. DC. as a potential source of bioactive secondary metabolites for protection against metabolic syndrome-induced in rats [J]. Zeitschrift für Naturforschung C, 72(3/4): 107-118.

Qian J S, Zhang B F, Wang W, et al., 2012. Chemical constituents of *Lagochilus ilicifolius* [J]. Chinese Traditional and Herbal Drugs, 43(5): 869-872. [钱景时, 张彬锋, 王玮, 等, 2012. 冬青叶兔唇花化学成分研究 [J]. 中草药, 43(5): 869-872.]

Rothwell J A, Day A J, Morgan M R A, 2005. Experimental determination of octanol-water partition coefficients of quercetin and related flavonoids [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 53(11): 4355-4360.

Ryu Y B, Jeong H J, Kim J H, et al., 2010. Biflavonoids from *Torreya nucifera* displaying SARS-CoV 3CL pro inhibition [J]. Bioorganic & Medicinal Chemistry, 18(22): 7940-7947.

Sadeghi Z, Cerulli A, Marzocco S, et al., 2023. Anti-inflammatory activity of tanshinone-related diterpenes from *Perovskia artemisioides* roots [J]. Journal of Natural Products, 86(4): 812-821.

Sui Y H, 2016. Investigation into the biological activities and chemical constituents of Jinchang jujuba in South Xinjiang [D]. Ala'er: Tarim University. [隋月红, 2016. 南疆金昌枣化学成分及其生物活性的初步研究 [D]. 阿拉尔: 塔里木大学.]

Tang C M, 2023. Studies on the 4,5-seco-abietane diterpenoids from *Salvia prionitis* and their cholesterol-lowing activity [D]. Kunming: Yunnan University. [汤楚明, 2023. 红根草中 4,5-开环型松香烷二萜及其降胆固醇活性研究 [D]. 昆明: 云南大学.]

Wahab A S, Apinya R, Chatchanok K, et al., 2011. Potential anti-inflammatory diterpenes from *Premna obtusifolia* [J]. Tetrahedron, 68(3): 819-829.

Wang X J, Luo X, Zhou J M, et al., 2016. Chemical constituents from rhizomes of *Rhodiola wallichiana* var. *cholaensis* and their protective effects on myocardium [J]. Chinese Traditional and Herbal Drugs, 47(16): 2822-2826. [王雪晶, 罗鑫, 周建明, 等, 2016. 大株红景天化学成分及其心肌细胞保护活性研究 [J]. 中草药, 47(16): 2822-2826.]

Wang Y F, 2016. Polyphenols and antioxidant capacity of polyphenols from *Castanopsis fargesii* Franch [D]. Guilin: Guangxi Normal University. [王亚凤, 2016. 锥属植物栲中多酚类成分及抗氧化研究 [D]. 桂林: 广西师范大学.]

Wei Y K, Wang Q, Huang Y B, 2015. Species diversity and distribution of *Salvia* (Lamiaceae) [J]. Biodiversity Science, 23(1): 3-10. [魏宇昆, 王琦, 黄艳波, 2015. 唇形科鼠尾草属的物种多样性与分布 [J]. 生物多样性, 23(1): 3-10.]

Wu G X, Huang L L, Zhang X, et al., 2016. Neuroprotective effect and mechanism of Salvinorin A on the injury of oxygen-glucose deprivation in cortical neurons of rats by primary culture [J]. Shanghai Medical Journal, 39(8): 489-492. [吴广喜, 黄莉莉, 张骁, 等, 2016. Salvinorin A 对原代培养的大鼠皮层神经元缺氧无糖损伤的保护作用及其机制 [J]. 上海医学, 39(8): 489-492.]

Wu Y B, Ni Z Y, Shi Q W, et al., 2012. Constituents from *Salvia* species and their biological activities [J]. Chemical Reviews, 112(11): 5967-6026.

Xia F, Du S Z, Wu M K, et al., 2022. Icetexane diterpenoids as Cav3.2 T-type calcium channel inhibitors from *Salvia prattii* and analgesic effect of their semi-synthesized derivatives [J]. Bioorganic Chemistry, 128: 106059.

Xia S J, Sun T, Wu J Z, 2014. Free radicals, inflammation and aging [J]. Practical Geriatrics, 28(2): 100-103. [夏世金, 孙涛, 吴俊珍, 2014. 自由基、炎症与衰老 [J]. 实用老年医学, 28(2): 100-103.]

Yan K B, Meng T, Cui W R, 2021. Functional study of *Dendrobium officinale* Kimura et Migo [J]. China Food Industry(14): 107-111. [岩孔卜, 梦婷, 崔文锐, 2021. 铁皮石斛酵素功能性研究 [J]. 中国食品工业(14): 107-111.]

Yuan C M, Huang L H, Suh J H, et al., 2019. Bioactivity-guided isolation and identification of antiadipogenic compounds in Shiya tea (leaves of *Adinandra nitida*) [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 67(24): 6785-6791.

Zebiri I, Haddad M, Duca L, et al., 2017. Biological activities of triterpenoids from *Poraqueiba sericea* stems [J]. Natural Product Research, 31(11): 1333-1338.

Zhang P P, Zhang J, Tian Y T, et al., 2024. Synthesis, antioxidant and anti-hypoxia activities of 6-hydroxygenistein and its methylated derivatives [J]. Journal of Central South University (Medical Science), 49(2): 236-246. [张朋朋, 张洁, 田贻婷, 等, 2024. 6-羟基染料木素及其甲基化衍生物的合成和抗氧化与抗缺氧活性 [J]. 中南大学学报(医学版), 49(2): 236-246.]

Zhao F Y, Lu X K, Zhang L S, et al., 2024. Medicinal resources, chemical constituents, and pharmacological activities of *Salvia* genus: a review [J]. Chinese Journal of Experimental Traditional Medical Formulae, 30(16): 272-283. [赵飞亚, 卢熙奎, 张铃声, 等, 2024. 鼠尾草属民族药物资源、化学成分及药理活性研究进展 [J]. 中国实验方剂学杂志, 30(16): 272-283.]

Zhou X D, Lü X C, Shi L Y, et al., 2013. Research on constituents from the air part of *Tadehagi triquetrum* [J]. Guihaia, 33(4): 575-578, 527. [周旭东, 吕晓超, 史丽颖, 等, 2013. 葫芦茶地上部分化学成分的研究 [J]. 广西植物, 33(4): 575-578, 527.]

(责任编辑 周翠鸣)