

DOI: 10.11931/guihaia.gxzw202201044

娄红波, 王先宏, 何丽莲, 等. 甘蔗茎叶的化学成分及抗氧化活性研究 [J]. 广西植物, 2022, 42(11): 1875–1883.

LOU HB, WANG XH, HE LL, et al. Chemical constituents and antioxidant activities from the stems and leaves of *Saccharum officinarum* [J]. *Guihaia*, 2022, 42(11): 1875–1883.

## 甘蔗茎叶的化学成分及抗氧化活性研究

娄红波, 王先宏, 何丽莲, 李富生\*

(云南农业大学 农学与生物技术学院, 昆明 650201)

**摘要:** 为研究甘蔗 (*Saccharum officinarum*) 茎叶的化学成分及抗氧化活性, 该文对甘蔗茎叶以甲醇提取, 提取物采用柱色谱 ( $\text{SiO}_2$ 、Sephadex LH-20、Rp-18) 进行分离纯化, 根据质谱和核磁共振技术鉴定所得化合物的结构, 并通过 DPPH 法测定化合物的清除自由基能力。结果表明: (1) 从甘蔗茎叶部位共分离鉴定 22 个化合物, 分别为对羟基苯甲醛 (1)、对甲氧基桂皮酸 (2)、4-甲氧基苯甲醛 (3)、香草醛 (4)、4-羟基肉桂酸甲酯 (5)、对羟基苯甲酸 (6)、(2-羟基苯基)(苯基)甲酮 (7)、对甲基苯甲酸 (8)、咖啡酸甲酯 (9)、乌头酸 A (10)、乌头酸 E (11)、5-O-二甲氧基肉桂酰基奎尼酸 (12)、槲皮素 (13)、槲皮素-3-O- $\alpha$ -L-阿拉伯糖苷 (14)、槲皮素-3-O- $\beta$ -D-吡喃半乳糖苷 (15)、硫代二丙酸双十八烷基酯 (16)、 $\alpha$ -conidendrin (17)、rel-(2 $\alpha$ ,3 $\beta$ )-7-O-methylcedrusin (18)、3-O-阿魏酰奎宁酸甲酯 (19)、木犀草素 (20)、(5S,6S)-5,6-dihydro-3,8,10-trihydroxy-5-(4-hydroxy-3-methoxyphenyl)-6-hydroxymethyl-2,4-dimethoxy-7H-benzo [c] xanthen-7-one (21) 和 5-O-阿魏酰奎宁酸甲酯 (22), 其中化合物 2-3、7-11、14-19、21-22 为首次从该植物中分离得到。(2) 通过 DPPH 法对含量大的 15 个化合物 (1-9、11-16) 进行自由基清除能力的筛选, 其中化合物 12 (5-O-二甲氧基肉桂酰基奎尼酸) 显示了较好的抗氧化活性 ( $\text{IC}_{50}$  值为  $49.58 \mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ )。该研究结果丰富了甘蔗抗氧化活性物质基础, 为其进一步开发利用提供了科学依据。

**关键词:** 化学成分, 甘蔗, 茎叶, 抗氧化, 活性

中图分类号: Q946 文献标识码: A 文章编号: 1000-3142(2022)11-1875-09

## Chemical constituents and antioxidant activities from the stems and leaves of *Saccharum officinarum*

LOU Hongbo, WANG Xianhong, HE Lilian, LI Fusheng\*

(College of Agriculture and Biotechnology, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China)

**Abstract:** To study the chemical constituents and antioxidant activities from the stems and leaves of *Saccharum officinarum*. Twenty-two compounds were isolated and purified from the MeOH part of the stems and leaves of *S. officinarum* by means of various column chromatographic techniques, including  $\text{SiO}_2$ , Sephadex LH-20 and Rp-18 silica gel. Their structures were identified by mass spectrometry and nuclear magnetic resonance; The DPPH method was used

收稿日期: 2022-05-09

基金项目: 国家自然科学基金(31560417, 31960451); 云南农业大学 ESI 学科提升计划项目(2019YNAUESIMS01) [Supported by National Natural Science Foundation of China (31560417, 31960451); ESI Discipline Improvement Program of Yunnan Agricultural University (2019YNAUESIMS01)]。

第一作者: 娄红波(1982-), 博士研究生, 主要从事甘蔗资源研究与利用, (E-mail) 2455978189@qq.com。

\*通信作者: 李富生, 教授, 博士研究生导师, 主要从事甘蔗资源研究与利用, (E-mail) lfs810@sina.com。

to determine the free radical scavenging abilities of the components from *S. officinarum*. The results were as follows: (1) The compounds were identified as *p*-hydroxybenzaldehyde (**1**), *p*-methoxy-cinnamic acid (**2**), 4-methoxybenzaldehyde (**3**), vanillin (**4**), 4-hydroxy-cinnamic acid methylester (**5**), *p*-hydroxybenzoic acid (**6**), (2-Hydroxyphenyl) (phenyl)methanone (**7**), *p*-methylbenzoic acid (**8**), caffeic acid methyl ester (**9**), aconitate A (**10**), aconitate E (**11**), 5-*O*-dimethoxycinnamoylquinic acid (**12**), quercetin (**13**), quercetin-3-*O*- $\alpha$ -L-arabinoside (**14**), quercetin-3-*O*- $\beta$ -D-galactopyranoside (**15**), didodecyl thiodipropionate (propionic acid, 3,3-sulfinyl di-1,1'-didodecyl ester) (**16**),  $\alpha$ -conidendrin (**17**), rel-(2 $\alpha$ ,3 $\beta$ )-7-*O*-methylcedrusin (**18**), 3-*O*-Ferulylquinic acid methyl ester (**19**), luteolin (**20**), (5*S*,6*S*)-5,6-dihydro-3,8,10-trihydroxy-5-(4-hydroxy-3-methoxyphenyl)-6-hydroxymethyl-2,4-dimethoxy-7*H*-benzo [*c*]xanthen-7-one (**21**), 5-*O*-Ferulylquinic acid methyl ester (**22**). Compounds **2-3**, **7-11**, **14-19**, **21-22** were isolated from this plant for the first time. (2) Determination of free radical scavenging abilities of 15 compounds (**1-9**, **11-16**) were selected by DPPH method. Compound **12** (5-*O*-dimethoxycinnamoylquinic acid) had great antioxidant activity ( $IC_{50}$  value was  $49.58 \mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ ). This study enrich the material basis of antioxidant activity of *S. officinarum*, which provides a scientific basis for the further development of *S. officinarum*.

**Key words:** chemical constituents, *Saccharum officinarum*, stems and leaves, antioxidant, activity

甘蔗 (*Saccharum officinarum*) 系禾本科 (Gramineae) 甘蔗属 (*Saccharum*) 植物, 分布于温带及亚热带地区, 全球有 100 多个国家种植甘蔗。我国甘蔗资源丰富, 集中种植于广西、云南、福建等地 (中国科学院中国植物志编辑委员会, 2014), 是我国发展糖业最重要的生产原料。甘蔗榨糖后, 留下的叶和渣为农业副产物, 产量较大, 占总量的 40%, 仅少量被用于加工为动物饲料和酵母 (魏纪湖等, 2016), 而大部分被蔗农就地焚烧, 而造成资源浪费且严重污染环境。当前, 我国糖业健康稳定发展, 甘蔗副产物越来越多, 如何高效利用甘蔗资源一直成为社会讨论的热点和重点。

《中药大辞典》记载甘蔗味甘、性凉, 具有清热、生津、解酒等功效 (江苏新医学院, 2006)。民间用甘蔗治疗膀胱结石、肾结石和淋病, 取得了良好效果。甘蔗汁具有清热生津、消痰镇咳、治呃止呕等功能。当前研究表明甘蔗叶的化学成分主要为糖类、黄酮类、酚类、多糖等 (冯思敏, 2017; 侯小涛, 2014), 具有抗氧化、抗肿瘤、降血糖、抗炎等多种生物活性 (江恒等, 2012; 桂意云等, 2012; 何雪梅等, 2015), 但其中的化合物单体活性成分报道却较少。为进一步揭示甘蔗的活性成分, 更好地开发利用甘蔗副产物的药用部位, 本研究以甲醇提取甘蔗茎叶部位进行系统的化学成分研究, 从乙酸乙酯萃取部位分离得到 22 个化合物 (图 1), 其中 **2-3**、**7-11**、**14-19**、**21-22** 为首次从该植物茎叶部位分离得到, 化合物 **12** 为前期 (姜红波等, 2021) 分离到的已知化合物。采用 DPPH 法对量大的 15 个化合物 (**1-9**、**11-16**) 进行自由基清除能力的筛选, 化合物 **12** (5-*O*-二甲氧基肉桂

酰基奎尼酸) 显示了较好的抗氧化活性 ( $IC_{50}$  值为  $49.58 \mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ ), 研究结果可为后续的活性研究及资源开发利用提供物质基础。

## 1 仪器与材料

JP-030S 超声波仪器 (中国深圳钰洁清洗设备公司)、HC-2500Y304 粉碎机 (中国武汉海纳电器公司)、VG-autospec 3000 型质谱仪 (英国 mscromass 公司)、Bruker avance-600 MHz 核磁共振仪 (瑞士 bruker 公司)、OSB-2100 旋转蒸发仪 (中国上海爱朗仪器有限公司)、Rp-18 反向硅胶和凝胶 Sephadex LH-20 (中国上海伊卡生物技术有限公司);  $\text{SiO}_2$  (200~300 目) 和硅胶板 GF<sub>254</sub> (中国青岛海洋化工公司); 常规试剂 (甲醇、丙酮、乙酸乙酯、石油醚等) 为国产分析纯, 纯净水。

甘蔗茎叶于 2018 年 8 月采自云南省省级甘蔗昆明种质资源圃 (云南农业大学校园内, 海拔 1 950 m), 经云南农业大学李富生教授鉴定为甘蔗 (*Saccharum officinarum*)。

## 2 实验方法

### 2.1 提取与分离

取干燥的甘蔗茎、叶 80 kg, 粉碎, 甲醇浸泡 1 d, 回流提取, 回收甲醇至浸膏状。浸膏先用水溶解, 继用 5% HCl 调 pH 为 3~4, 乙酸乙酯连续萃取 3 次, 回收溶剂, 获得甘蔗粗提物 500 g。粗提物采用硅胶柱色谱, 以  $\text{CHCl}_3 - \text{CH}_3\text{OH} - \text{冰醋酸}$  (10 : 0.1 : 0.02~10 : 3.5 : 0.02) 进行梯度洗脱,

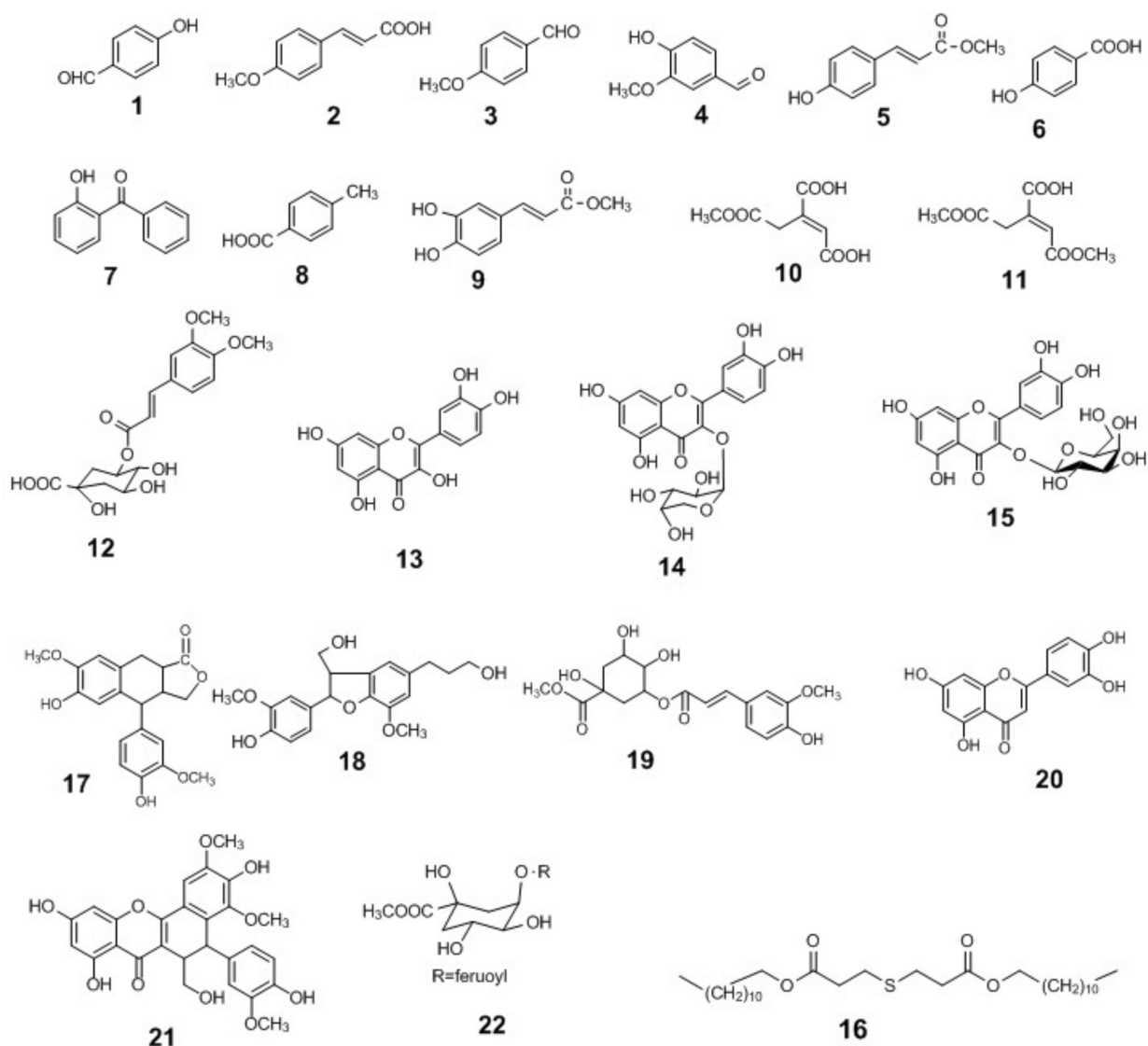


图 1 化合物 1-22 化学结构

Fig. 1 Chemical structures of compounds 1-22

合并色点相同部分共得 8 个馏份 (Fr.1-8)。Fr.1 硅胶柱色谱经石油醚-乙酸乙酯-冰醋酸 (5 : 0.5~1.2 : 0.02) 梯度洗脱,得 3 个馏分 (Fr.1-A, 1-B, 1-C)。Fr.1-A 经硅胶柱色谱用石油醚-丙酮-冰醋酸 (5 : 0.5 : 0.02) 和 Sephadex LH-20 ( $\text{CHCl}_3$ -MeOH 1 : 1) 进行反复纯化,得到化合物 **1** (0.43 g)、**2** (0.58 g)、**3** (0.33 g)、**4** (0.19 g)、**5** (0.38 g)。Fr.1-B 反复过硅胶柱色谱  $\text{CHCl}_3$ -MeOH-冰醋酸 (10 : 0.1 : 0.01) 分离,以 Sephadex LH-20 ( $\text{CHCl}_3$ - $\text{CH}_3\text{OH}$  1 : 1) 反复纯化,得化合物 **6** (0.32 g)、**7** (0.87 g)。Fr.1-C 经硅胶柱色谱  $\text{CHCl}_3$ -MeOH-冰醋酸 (10 : 0.1 : 0.02) 梯度洗脱,用 Rp-18 硅胶甲醇-水体系 (5 : 95~

90 : 10) 分离纯化,得到化合物 **8** (0.29 g)、**9** (0.20 g)、**10** (0.05 g)、**11** (0.33 g)。Fr.4 经硅胶柱色谱  $\text{CHCl}_3$ -MeOH-冰醋酸 (10 : 0.3 : 0.02) 反复分离纯化,得到化合物 **12** (0.38 g)。Fr.6 经柱色谱 Rp-18 硅胶甲醇-水体系 (5 : 95~80 : 20) 梯度洗脱,用 Sephadex LH-20 ( $\text{CHCl}_3$ - $\text{CH}_3\text{OH}$  1 : 1) 反复纯化,得到化合物 **13** (0.19 g)、**14** (0.24 g)、**15** (0.22 g)。Fr.7 经硅胶柱色谱以石油醚-乙酸乙酯-冰醋酸 (5 : 5.0 : 0.02) 梯度洗脱,得 3 个馏分 (Fr.7-A, 7-B, 7-C)。Fr.7-A 经柱色谱 Sephadex LH-20 ( $\text{CHCl}_3$ -MeOH 1 : 1) 分离,以 Rp-18 硅胶甲醇-水体系 (30 : 70~70 : 20) 梯度洗脱,得到化合物 **16** (0.17 g)、**17** (0.025 g)。

Fr.7-B 经硅胶柱色谱用  $\text{CHCl}_3$ -MeOH-冰醋酸 (10 : 0.8 : 0.02) 洗脱,反复过柱色谱 Sephadex LH-20 ( $\text{CHCl}_3$ -MeOH 1 : 1),得化合物 **18** (0.057 g)、**19** (0.076 g)、**20** (0.055 g)。Fr.7-C 经柱色谱以 Rp-18 硅胶甲醇-水体系 (30 : 70~80 : 20) 梯度洗脱,进行反复硅胶柱层析等色谱技术分离纯化,得到化合物 **21** (0.04 g)、**22** (0.068 g)。

## 2.2 采用 DPPH 法测定化合物清除自由基的能力

高含量的 15 个化合物 (**1-9**, **11-16**), 分别用无水乙醇稀释至所需浓度, DPPH 用无水乙醇配成  $0.2 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  的溶液备用。分别将 100  $\mu\text{L}$  各浓度测试化合物溶液 (1 000、500、250、125、62.5、31.25、15.625  $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ ) 和 100  $\mu\text{L}$  DPPH 溶液加入到 96 孔板中,轻轻混匀,室温下避光静置反应 30 min 后于 517 nm 波长测定其吸光度  $A_s$ ,同时测定 100  $\mu\text{L}$  DPPH 溶液与 100  $\mu\text{L}$  无水乙醇混合后的吸光度  $A_b$ ,以及 200  $\mu\text{L}$  无水乙醇的吸光度值  $A_{ref}$ 。按以下公式计算各化合物对 DPPH 自由基的清除率,并用 Origin 软件计算  $\text{IC}_{50}$  值。

$$I(\%) = [(A_s - A_{ref}) - (A_b - A_{ref})] / (A_b - A_{ref}) \times 100\%$$

式中: $I$  表示 DPPH 自由基清除率; $A_s$  表示测试样本和 DPPH 混合溶液 OD 值; $A_b$  表示 DPPH 和无水乙醇混合溶液 OD 值; $A_{ref}$  表示无水乙醇 OD 值。

## 3 结果与分析

### 3.1 结构鉴定

化合物 **1** 白色粉末。ESI-MS  $m/z$ : 123.1  $[\text{M}+\text{H}]^+$ ,分子式为  $\text{C}_7\text{H}_6\text{O}_2$ 。 $^1\text{H-NMR}$  (600 MHz,  $\text{CD}_3\text{OD}$ )  $\delta$ : 9.75 (1H, s, H-4), 7.75 (2H, s, H-2,6), 6.91 (2H, m, H-3, 5);  $^{13}\text{C-NMR}$  (150 MHz,  $\text{CD}_3\text{OD}$ )  $\delta$ : 192.8 (C-6), 165.2 (C-4), 133.4 (C-1), 130.3 (C-2, 6), 116.9 (C-3, 5)。以上数据与文献 (李小辉等,2022) 基本一致,故鉴定为对羟基苯甲醛 (*p*-hydroxybenzaldehyde)。

化合物 **2** 白色针状物质。ESI-MS  $m/z$ : 179.2  $[\text{M}+\text{H}]^+$ ,分子式为  $\text{C}_{10}\text{H}_{10}\text{O}_3$ 。 $^1\text{H-NMR}$  (600 MHz,  $\text{CD}_3\text{OD}$ )  $\delta$ : 7.57 (1H, d,  $J = 15.1 \text{ Hz}$ , H-7), 7.41 (2H, dd,  $J = 6.1, 1.7 \text{ Hz}$ , H-2, 6), 6.78 (2H, dd,  $J = 6.5, 1.7 \text{ Hz}$ , H-3, 5), 6.28 (1H, d,  $J = 15.3 \text{ Hz}$ , H-8), 3.73 (3H, s,  $-\text{OCH}_3$ );  $^{13}\text{C-NMR}$  (150 MHz,  $\text{CD}_3\text{OD}$ )  $\delta$ : 169.7 ( $-\text{COOH}$ ), 161.2 (C-4), 146.5 (C-7), 131.1 (C-2, 6), 127.1 (C-1), 116.8 (C-3, 5), 114.9

(C-8), 51.9 ( $-\text{OCH}_3$ )。以上数据与文献 (周媛媛等,2020) 基本一致,故鉴定为对甲氧基桂皮酸 (*p*-methoxy-cinnamic acid)。

化合物 **3** 白色块状。ESI-MS  $m/z$ : 135.0  $[\text{M-H}]^-$ ,分子式为  $\text{C}_8\text{H}_8\text{O}_2$ 。 $^1\text{H-NMR}$  (600 MHz,  $\text{CD}_3\text{OD}$ )  $\delta$ : 9.75 (1H, s, H-4), 7.75 (2H, s, H-2,6), 6.91 (2H, m, H-3, 5);  $^{13}\text{C-NMR}$  (150 MHz,  $\text{CD}_3\text{OD}$ )  $\delta$ : 192.8 (C-1), 165.2 (C-4), 133.2 (C-2, 6), 115.9 (C-3, 5)。以上数据与文献 (黄青兰等,2017) 基本一致,故鉴定为 4-甲氧基苯甲醛 (4-methoxybenzaldehyde)。

化合物 **4** 白色粉末。ESI-MS  $m/z$ : 151.2  $[\text{M-H}]^-$ ,分子式为  $\text{C}_8\text{H}_8\text{O}_3$ 。 $^1\text{H-NMR}$  (600 MHz,  $\text{CD}_3\text{OD}$ )  $\delta$ : 9.71 (1H, s,  $-\text{CHO}$ ), 7.42 (1H, dd,  $J = 8.6, 1.3 \text{ Hz}$ , H-6), 7.41 (1H, d,  $J = 1.5 \text{ Hz}$ , H-2), 6.92 (1H, d,  $J = 8.2 \text{ Hz}$ , H-5), 6.90 (1H, brs,  $-\text{OH}$ ), 3.87 (3H, s,  $-\text{OCH}_3$ );  $^{13}\text{C-NMR}$  (150 MHz,  $\text{CD}_3\text{OD}$ )  $\delta$ : 192.8 ( $-\text{CHO}$ ), 155.4 (C-4), 149.9 (C-3), 130.3 (C-1), 128.1 (C-6), 116.4 (C-2), 111.2 (C-5), 56.4 ( $-\text{OCH}_3$ )。以上数据与文献 (吴美婷等,2021) 基本一致,故鉴定为香草醛 (vanillin)。

化合物 **5** 白色粉末。ESI-MS  $m/z$ : 177.2  $[\text{M-H}]^-$ ,分子式为  $\text{C}_{10}\text{H}_{10}\text{O}_3$ 。 $^1\text{H-NMR}$  (600 MHz,  $\text{CD}_3\text{OD}$ )  $\delta$ : 7.60 (1H, d,  $J = 16.2 \text{ Hz}$ , H-3), 7.58 (2H, d,  $J = 8.4 \text{ Hz}$ , H-5, 9), 6.79 (2H, d,  $J = 8.6 \text{ Hz}$ , H-6, 8), 6.78 (1H, d,  $J = 15.8 \text{ Hz}$ , H-2), 3.29 (3H, s,  $-\text{OCH}_3$ );  $^{13}\text{C-NMR}$  (150 MHz,  $\text{CD}_3\text{OD}$ )  $\delta$ : 169.7 (C-9), 161.3 (C-4), 146.5 (C-7), 133.6 (C-2), 131.1 (C-6), 127.1 (C-1), 116.8 (C-3'), 116.8 (C-5'), 114.9 (C-8), 51.9 ( $-\text{OCH}_3$ )。以上数据与文献 (El-kader et al., 2020) 基本一致,故鉴定为 4-羟基肉桂酸甲酯 (4-hydroxy-cinnamic acid methylester)。

化合物 **6** 白色块状物质。ESI-MS  $m/z$ : 137.1  $[\text{M-H}]^-$ ,分子式为  $\text{C}_7\text{H}_6\text{O}_3$ 。 $^1\text{H-NMR}$  (600 MHz,  $\text{CD}_3\text{OD}$ )  $\delta$ : 7.85 (2H, d,  $J = 8.6 \text{ Hz}$ , H-2, 6), 6.79 (2H, d,  $J = 8.4 \text{ Hz}$ , H-3, 5);  $^{13}\text{C-NMR}$  (150 MHz,  $\text{CD}_3\text{OD}$ )  $\delta$ : 170.1 (C-7), 163.3 (C-4), 132.9 (C-2, 6), 122.7 (C-1), 116.0 (C-3, 5)。以上数据与文献 (任刚等,2020) 基本一致,故鉴定为对羟基苯甲酸 (*p*-hydroxybenzoic acid)。

化合物 **7** 白色粉末。ESI-MS  $m/z$ : 197.2  $[\text{M-H}]^-$ ,分子式为  $\text{C}_{13}\text{H}_{10}\text{O}_2$ 。 $^1\text{H-NMR}$  (600 MHz,  $\text{CD}_3\text{OD}$ )  $\delta$ : 9.76 (1H, s, H-6), 7.78 (2H, d,

$J = 7.8$  Hz, H-3, 5), 7.75 (2H, m, H-2', 6'), 6.91~7.23 (3H, t,  $J = 7.2$  Hz, H-3', 4', 5'), 6.89 (1H, d,  $J = 8.5$  Hz, H-2), 6.37 (1H, d,  $J = 7.8$  Hz, H-4');  $^{13}\text{C-NMR}$  (150 MHz,  $\text{CD}_3\text{OD}$ )  $\delta$ : 192.8 (C-7), 165.2 (C-6), 158.8 (C-1'), 133.4 (C-3', 5'), 130.4 (C-2, 4), 129.0 (C-1), 116.9 (C-3, 5), 116.8 (C-1), 115.8 (C-4'), 104.8 (C-2', 6')。以上数据与文献 (Ang et al., 2014) 基本一致, 故鉴定为 (2-羟基苯基)(苯基)甲酮 [(2-Hydroxyphenyl)(phenyl)methanone]。

化合物 8 白色结晶物质。ESI-MS  $m/z$ : 135.2  $[\text{M-H}]^-$ , 分子式为  $\text{C}_8\text{H}_8\text{O}_2$ 。 $^1\text{H-NMR}$  (600 MHz,  $\text{CD}_3\text{OD}$ )  $\delta$ : 7.25 (2H, br. s, H-2', 6'), 6.67 (1H, s, H-3), 6.49 (1H, s, H-6), 6.32 (1H, s, H-8), 3.97 (6H, s, 2 $\text{CH}_3$ );  $^{13}\text{C-NMR}$  (150 MHz,  $\text{CD}_3\text{OD}$ )  $\delta$ : 192.8 (-COOH), 166.1 (C-1), 133.5 (C-3, 5), 128.7 (C-4), 116.9 (C-2, 6), 30.8 (- $\text{CH}_3$ )。以上数据与文献 (钱群刚等, 2019) 基本一致, 故鉴定为对甲基苯甲酸 (*p*-methylbenzoic acid)。

化合物 9 淡黄色块状。ESI-MS  $m/z$ : 195.2  $[\text{M+H}]^+$ , 分子式为  $\text{C}_{10}\text{H}_{10}\text{O}_4$ 。 $^1\text{H-NMR}$  (600 MHz,  $\text{CD}_3\text{OD}$ )  $\delta$ : 7.52 (1H, d,  $J = 17.1$  Hz, H-7), 7.03 (1H, d,  $J = 2.2$  Hz, H-2), 6.89 (1H, dd,  $J = 8.7, 2.1$  Hz, H-6), 6.81 (1H, d,  $J = 8.3$  Hz, H-5), 6.27 (1H, d,  $J = 16.5$  Hz, H-8), 3.88 (3H, s, - $\text{OCH}_3$ );  $^{13}\text{C-NMR}$  (150 MHz,  $\text{CD}_3\text{OD}$ )  $\delta$ : 169.9 (C-9), 149.6 (C-4), 146.5 (C-3), 146.1 (C-7), 127.9 (C-6), 127.3 (C-1), 116.6 (C-8), 115.2 (C-5), 115.0 (C-2), 53.7 (- $\text{OCH}_3$ )。以上数据与文献 (Hori et al., 2021) 基本一致, 故鉴定为咖啡酸甲酯 (caffeic acid methyl ester)。

化合物 10 白色粉末。ESI-MS  $m/z$ : 187.1  $[\text{M-H}]^-$ , 分子式为  $\text{C}_7\text{H}_8\text{O}_6$ 。 $^1\text{H-NMR}$  (600 MHz,  $\text{CD}_3\text{OD}$ )  $\delta$ : 6.91 (1H, s, H-4), 3.84 (2H, s, H-2), 3.71 (3H, s, 1- $\text{OCH}_3$ );  $^{13}\text{C-NMR}$  (150 MHz,  $\text{CD}_3\text{OD}$ )  $\delta$ : 172.5 (C-1), 168.9 (C-6), 168.3 (C-5), 141.2 (C-3), 130.7 (C-4), 52.5 (1- $\text{OCH}_3$ ), 33.6 (C-2)。以上数据与文献 (Xu et al., 2017) 基本一致, 故鉴定为乌头酸 A (aconitate A)。

化合物 11 白色粉末物质。ESI-MS  $m/z$ : 225.0  $[\text{M+Na}]^+$ , 分子式为  $\text{C}_8\text{H}_{10}\text{O}_6$ 。 $^1\text{H-NMR}$  (600 MHz,  $\text{CD}_3\text{OD}$ )  $\delta$ : 6.93 (1H, s, H-4), 3.82 (2H, s, H-2), 3.78 (3H, s, 1- $\text{OCH}_3$ ), 3.67 (3H, s, 5-

$\text{OCH}_3$ );  $^{13}\text{C-NMR}$  (150 MHz,  $\text{CD}_3\text{OD}$ )  $\delta$ : 172.5 (C-1), 168.8 (C-6), 167.3 (C-5), 142.1 (C-3), 129.3 (C-4), 52.6 (5- $\text{OCH}_3$ ), 52.4 (1- $\text{OCH}_3$ ), 33.6 (C-2)。以上数据与文献 (Xu et al., 2017) 基本一致, 故鉴定为乌头酸 E (aconitate E)。

化合物 12 白色固体。ESI-MS  $m/z$ : 381.1  $[\text{M-H}]^-$ , 经硅胶板 TLC 与其对照品对照, 以氯仿-甲醇-冰醋酸 (8:1.5:0.02,  $R_f=0.5$ )、石油醚-乙酸乙酯-冰醋酸 (6:4:0.02,  $R_f=0.55$ ) 和石油醚-丙酮-冰醋酸 (7:3:0.02;  $R_f=0.6$ ) 为展开剂, 经硫酸乙醇溶液显色, 105  $^\circ\text{C}$  至斑点清晰, 结果在与对照品相应位置上显示相同颜色斑点。故鉴定该化合物为 5-*O*-二甲氧基肉桂酰基奎尼酸 (5-*O*-dimethoxycinnamoylquinic acid) (姜红波等, 2021)。

化合物 13 黄色块状物质。ESI-MS  $m/z$ : 303.2  $[\text{M+H}]^+$ , 分子式为  $\text{C}_{15}\text{H}_{10}\text{O}_7$ 。 $^1\text{H-NMR}$  (600 MHz,  $\text{CD}_3\text{OD}$ )  $\delta$ : 7.78 (2H, d,  $J = 2.2$  Hz, H-2'), 7.59 (1H, dd,  $J = 8.4, 2.1$  Hz, H-6'), 6.85 (1H, d,  $J = 8.2$  Hz, H-5'), 6.31 (1H, d,  $J = 2.2$  Hz, H-8), 6.22 (1H, d,  $J = 2.0$  Hz, H-6);  $^{13}\text{C-NMR}$  (150 MHz,  $\text{CD}_3\text{OD}$ )  $\delta$ : 177.2 (C-4), 165.1 (C-7), 161.4 (C-5), 155.3 (C-9), 146.9 (C-4'), 146.7 (C-2), 144.7 (C-3'), 136.7 (C-3), 121.6 (C-1'), 118.7 (C-6'), 115.6 (C-5'), 115.3 (C-2'), 98.3 (C-6), 94.1 (C-8)。以上数据与文献 (闫建昆等, 2021) 基本一致, 故鉴定为槲皮素 (quercetin)。

化合物 14 黄色块状。ESI-MS  $m/z$ : 433.4  $[\text{M-H}]^-$ , 分子式为  $\text{C}_{20}\text{H}_{18}\text{O}_{11}$ 。 $^1\text{H-NMR}$  (600 MHz,  $\text{CD}_3\text{OD}$ )  $\delta$ : 8.68 (2H, d,  $J = 2.1$  Hz, H-2'), 8.12 (1H, d,  $J = 8.4, 1.8$  Hz, H-6'), 7.41 (1H, d,  $J = 8.2, 1.8$  Hz, H-5'), 6.92 (1H, d,  $J = 1.8, 1.8$  Hz, H-8), 6.75 (1H, d,  $J = 1.6$  Hz, H-6), 5.60 (1H, d,  $J = 7.1$  Hz, H-1'');  $^{13}\text{C-NMR}$  (150 MHz,  $\text{CD}_3\text{OD}$ )  $\delta$ : 177.9 (C-4), 163.6 (C-7), 161.5 (C-5), 156.9 (C-9), 156.5 (C-2), 148.7 (C-4'), 147.0 (C-3'), 135.1 (C-3), 121.3 (C-1'), 116.9 (C-5'), 116.5 (C-2'), 106.3 (C-10), 102.0 (C-1''), 99.5 (C-6), 94.3 (C-8), 74.3 (C-3''), 72.2 (C-2''), 69.0 (C-4''), 67.1 (C-5'')。以上数据与文献 (韩荣欣等, 2020) 基本一致, 故鉴定为槲皮素-3-*O*- $\alpha$ -L-阿拉伯糖苷 (quercetin-3-*O*- $\alpha$ -L-arabinoside)。

化合物 15 淡黄色块状。ESI-MS  $m/z$ : 463.4  $[\text{M-H}]^-$ , 分子式为  $\text{C}_{21}\text{H}_{20}\text{O}_{12}$ 。 $^1\text{H-NMR}$  (600 MHz,  $\text{CD}_3\text{OD}$ )  $\delta$ : 8.43 (1H, d,  $J = 2.0$  Hz, H-

2'), 8.10 (1H, dd,  $J = 8.2, 2.1$  Hz, H-6'), 7.22 (1H, d,  $J = 8.5$  Hz, H-5'), 6.67 (1H, d,  $J = 2.3$  Hz, H-8), 6.64 (1H, d,  $J = 2.2$  Hz, H-6), 6.13 (1H, d,  $J = 7.9$  Hz, H-1''),  $^{13}\text{C-NMR}$  (150 MHz,  $\text{CD}_3\text{OD}$ )  $\delta$ : 178.7 (C-4), 166.4 (C-7), 162.9 (C-5), 157.9 (C-9), 157.5 (C-2), 150.6 (C-4'), 146.5 (C-3'), 135.3 (C-3), 122.6 (C-1'), 122.2 (C-6'), 117.6 (C-2'), 116.0 (C-5'), 105.5 (C-10), 105.1 (C-1''), 99.7 (C-6), 94.5 (C-8), 77.9 (C-5''), 75.3 (C-3''), 73.1 (C-2''), 69.4 (C-4''), 62.6 (C-6''). 以上数据与文献(李孟等, 2019)基本一致, 故鉴定为槲皮素-3- $O$ - $\beta$ -D-吡喃半乳糖苷(querletin-3- $O$ - $\beta$ -D-galactopyranoside)。

化合物 16 透明针状物质。ESI-MS  $m/z$ : 531.5  $[\text{M}+\text{H}]^+$ , 分子式为  $\text{C}_{30}\text{H}_{58}\text{O}_5\text{S}$ 。 $^1\text{H-NMR}$  (600 MHz,  $\text{CD}_3\text{OD}$ )  $\delta$ : 4.12 (2H, t,  $J = 7.1$  Hz, H-1'', 1'''), 3.08 (1H, m, H-2'), 2.93 (1H, m, H-2), 2.83 (2H, m, H-3, 3'), 0.87 (2H, t t,  $J = 7.7, 5.6$  Hz, H-12'', 12''');  $^{13}\text{C-NMR}$  (150 MHz,  $\text{CD}_3\text{OD}$ )  $\delta$ : 171.3 (C-1, 1'), 65.5 (C-1'', 1'''), 47.2 (C-2, 2'), 27.1 (C-3, 3'), 31.9 (C-11'', 11'''), 29.7 (C-10'', 10'''), 29.6 (C-9'', 9'''), 29.5 (C-8'', 8'''), 29.4 (C-7'', 7'''), 29.3 (C-6'', 6'''), 29.2 (C-5'', 5'''), 28.5 (C-4'', 4'''), 25.9 (C-3'', 3'''), 22.7 (C-2'', 2'''), 14.1 (C-12'', 12''')。以上数据与文献(Malak et al., 2013)基本一致, 故鉴定为硫代二丙酸双十八烷基酯[*didodecyl thiodipropionate* (propionic acid, 3, 3-sulfinyl di-1, 1'-didodecyl ester)]。

化合物 17 白色粉末。ESI-MS  $m/z$ : 357.3  $[\text{M}+\text{H}]^+$ , 分子式为  $\text{C}_{20}\text{H}_{20}\text{O}_6$ 。 $^1\text{H-NMR}$  (600 MHz,  $\text{CD}_3\text{OD}$ )  $\delta$ : 7.28 (1H, d,  $J = 8.2$  Hz, H-2'), 6.99 (1H, d,  $J = 2.1$  Hz, H-5'), 6.78 (1H, d,  $J = 1.8$  Hz, H-2), 6.75 (1H, dd,  $J = 1.8, 8.4$  Hz, H-6), 6.72 (1H, d,  $J = 1.8$  Hz, H-5), 3.86 (3H, s, 3- $\text{OCH}_3$ ), 3.65 (3H, s, 3'- $\text{OCH}_3$ ), 2.65 (2H, t,  $J = 7.5$  Hz, H-7');  $^{13}\text{C-NMR}$  (150 MHz,  $\text{CD}_3\text{OD}$ )  $\delta$ : 178.7 (C-9'), 148.5 (C-3), 147.3 (C-3'), 146.2 (C-4), 145.9 (C-4'), 136.7 (C-1), 133.6 (C-6'), 127.6 (C-1'), 123.2 (C-6), 117.6 (C-5'), 115.9 (C-5), 114.1 (C-2), 112.9 (C-2'), 72.7 (C-9), 56.4 (4- $\text{OCH}_3$ ), 56.3 (4'- $\text{OCH}_3$ ), 50.2 (C-8'), 47.0 (C-7), 41.6 (C-8), 30.7 (C-7')。以上数据与文献(Fedorova et al., 2016)基本一致, 故鉴定为  $\alpha$ -conidendrin。

化合物 18 无色固体物质。ESI-MS  $m/z$ : 361.4  $[\text{M}+\text{H}]^+$ , 分子式为  $\text{C}_{20}\text{H}_{24}\text{O}_6$ 。 $^1\text{H-NMR}$  (600 MHz,  $\text{CD}_3\text{OD}$ )  $\delta$ : 6.99 (1H, d,  $J = 1.8$  Hz, H-2'), 6.87 (1H, dd,  $J = 1.8, 8.3$  Hz, H-6'), 6.77 (1H, d,  $J = 1.8$  Hz, H-5'), 6.71 (1H, s, H-6), 6.70 (1H, brs, H-4), 5.47 (1H, d,  $J = 6.6$  Hz, H-2), 3.88 (3H, s, 7- $\text{OCH}_3$ ), 3.83/3.74 (2H, m, H-3a/3a'), 3.66 (3H, s, 3'- $\text{OCH}_3$ ), 3.58 (2H, t,  $J = 6.5$  Hz, H-5c), 3.49 (1H, dt,  $J = 6.4, 6.3$  Hz, H-3), 2.65 (2H, t,  $J = 7.5$  Hz, H-5a), 1.80 (2H, tt,  $J = 6.6, 7.7$  Hz, H-5b);  $^{13}\text{C-NMR}$  (150 MHz,  $\text{CD}_3\text{OD}$ )  $\delta$ : 149.0 (C-3'), 147.4 (C-4'), 147.4 (C-7a), 145.1 (C-7), 136.9 (C-5), 134.8 (C-1'), 129.8 (C-4a), 119.7 (C-6'), 117.9 (C-4), 116.1 (C-5'), 114.0 (C-6), 110.5 (C-2'), 89.0 (C-2), 64.9 (C-3a/a'), 62.2 (C-5c), 56.7 (7- $\text{OCH}_3$ ), 56.3 (3'- $\text{OCH}_3$ ), 55.4 (C-3), 35.8 (C-5b), 32.9 (C-5a)。以上数据与文献(Jia et al., 2017)基本一致, 故鉴定为 *rel*-(2 $\alpha$ , 3 $\beta$ )-7- $O$ -methylcedrusin。

化合物 19 白色粉末。ESI-MS  $m/z$ : 383.2  $[\text{M}+\text{H}]^+$ , 分子式为  $\text{C}_{18}\text{H}_{22}\text{O}_9$ 。 $^1\text{H-NMR}$  (600 MHz,  $\text{CD}_3\text{OD}$ )  $\delta$ : 7.55 (1H, d,  $J = 15.8$  Hz, H-7), 7.28 (1H, d,  $J = 1.3$  Hz, H-2), 7.12 (1H, dd,  $J = 1.4, 8.1$  Hz, H-6), 6.76 (1H, d,  $J = 8.2$  Hz, H-5), 6.43 (1H, d,  $J = 15.8$  Hz, H-8), 5.15 (1H, m, H-3'), 3.84 (4H, s, 3- $\text{OCH}_3$ , H-4'), 3.60 (1H, m, H-5'), 3.55 (3H, s,  $\text{COOCH}_3$ ), 2.05 (1H, dd,  $J = 4.2, 12.6$  Hz, H-2'b), 2.04 (1H, dd,  $J = 5.3, 13.5$  Hz, H-6'b), 1.87 (1H, dd,  $J = 1.5, 12.6$  Hz, H-2'a), 1.83 (1H, dd,  $J = 2.6, 13.4$  Hz, H-6'a);  $^{13}\text{C-NMR}$  (150 MHz,  $\text{CD}_3\text{OD}$ )  $\delta$ : 174.2 (CO), 166.1 (C-9), 149.1 (C-4), 147.9 (C-3), 144.5 (C-7), 125.7 (C-1), 123.0 (C-6), 115.5 (C-5), 115.3 (C-8), 110.9 (C-2), 72.6 (C-1'), 70.3 (C-3'), 70.0 (C-4'), 67.8 (C-5'), 55.7 (3- $\text{OCH}_3$ ), 51.5 ( $\text{COOCH}_3$ ), 39.1 (C-6'), 34.8 (C-2')。以上数据与文献(闫彦等, 2017)基本一致, 故鉴定为 3- $O$ -阿魏酰奎宁酸甲酯(3- $O$ -Ferulylquinic acid methyl ester)。

化合物 20 黄色粉末。ESI-MS  $m/z$ : 285.1  $[\text{M}-\text{H}]^-$ , 分子式为  $\text{C}_{15}\text{H}_{10}\text{O}_6$ 。 $^1\text{H-NMR}$  (600 MHz,  $\text{CD}_3\text{OD}$ )  $\delta$ : 12.23 (1H, s, 5-OH), 7.42 (1H, dd,  $J = 8.6, 0.8$  Hz, H-6'), 7.40 (1H, d,  $J =$

1.0 Hz, H-2'), 6.96 (1H, d,  $J = 8.4$  Hz, H-3'), 6.60 (1H, s, H-3), 6.52 (1H, d,  $J = 0.8$  Hz, H-8), 6.20 (1H, d,  $J = 0.8$  Hz, H-6);  $^{13}\text{C-NMR}$  (150 MHz,  $\text{CD}_3\text{OD}$ )  $\delta$ : 183.8 (C-4), 166.4 (C-7), 166.1 (C-2), 163.2 (C-9), 159.4 (C-5), 151.2 (C-4'), 147.1 (C-3'), 123.1 (C-1'), 120.3 (C-3), 116.8 (C-5'), 114.1 (C-6'), 105.3 (C-2'), 103.8 (C-10), 100.1 (C-6), 95.0 (C-8)。以上数据与文献 (Cao et al., 2021) 基本一致, 故鉴定为木犀草素 (luteolin)。

化合物 **21** 黄色无定型粉末。ESI-MS  $m/z$ : 509.3  $[\text{M}+\text{H}]^+$ , 分子式为  $\text{C}_{27}\text{H}_{24}\text{O}_{10}$ 。 $^1\text{H-NMR}$  (600 MHz,  $\text{CD}_3\text{OD}$ )  $\delta$ : 7.48 (1H, s, H-6'), 6.70 (1H, d,  $J = 2.2$  Hz, H-15), 6.55 (1H, d,  $J = 8.0$  Hz, H-18), 6.44 (1H, d,  $J = 2.2$  Hz, H-8), 6.33 (1H, d,  $J = 8.0$  Hz, H-19), 6.18 (1H, d,  $J = 2.2$  Hz, H-6), 3.56 (3H, s, 16-OCH<sub>3</sub>), 3.50 (1H, m, H-12), 3.24 (1H, m, H-11b), 4.82 (1H, s, H-13), 4.05 (3H, s, 3'-OCH<sub>3</sub>), 3.72 (3H, s, 5'-OCH<sub>3</sub>), 3.61 (1H, m, H-11a), 3.20 (1H, m, H-11b)。 $^{13}\text{C-NMR}$  (150 MHz,  $\text{CD}_3\text{OD}$ )  $\delta$ : 182.0 (C-4), 165.7 (C-7), 163.3 (C-5), 160.8 (C-2), 158.7 (C-9), 149.7 (C-5'), 148.9 (C-16), 147.7 (C-3'), 146.0 (C-17), 145.5 (C-4'), 136.6 (C-14), 128.8 (C-2'), 120.8 (C-19), 119.1 (C-1'), 115.9 (C-18), 112.4 (C-15), 112.0 (C-3), 105.3 (C-10), 103.8 (C-6'), 100.0 (C-6), 94.9 (C-8), 62.8 (C-11), 60.9 (3'-OCH<sub>3</sub>), 56.9 (5'-OCH<sub>3</sub>), 56.3 (16-OCH<sub>3</sub>), 42.3 (C-12), 37.8 (C-13)。以上数据与文献 (肖宗雨等, 2020) 基本一致, 故鉴定为 (5S, 6S)-5, 6-dihydro-3, 8, 10-trihydroxy-5-(4-hydroxy-3-methoxyphenyl)-6-hydroxymethyl-2, 4-dimethoxy-7H-benzo [c]xanthen-7-one)。

化合物 **22** 白色粉末。ESI-MS  $m/z$ : 381.4  $[\text{M}-\text{H}]^-$ , 分子式为  $\text{C}_{18}\text{H}_{22}\text{O}_9$ 。 $^1\text{H-NMR}$  (600 MHz,  $\text{CD}_3\text{OD}$ )  $\delta$ : 9.59 (1H, brs, 7'-OH), 7.50 (1H, d,  $J = 15.6$  Hz, H-3'), 7.27 (1H, d,  $J = 1.6$  Hz, H-5'), 7.01 (1H, dd,  $J = 8.2, 1.6$  Hz, H-9'), 6.81 (1H, d,  $J = 8.0$  Hz, H-8'), 6.40 (1H, d,  $J = 15.6$  Hz, H-2'), 5.49 (1H, brs, 1-OH), 5.13 (1H, dt,  $J = 9.2, 3.8$  Hz, H-5), 4.91 (1H, brs, 4-OH), 4.83 (1H, brs, 3-OH), 3.85 (1H, overlapped, H-3), 3.84 (3H, s, 6'-OCH<sub>3</sub>), 3.68 (1H, m, H-4), 3.55 (3H, s, 7-OCH<sub>3</sub>), 2.05 (1H, dd,  $J = 12.7, 3.9$  Hz, H-6b), 1.95 (1H, dd,  $J = 13.0, 5.9$  Hz,

H-2b), 1.86 (1H, dd,  $J = 12.3, 9.6$  Hz, H-6a), 1.84 (1H, dd,  $J = 13.3, 3.1$  Hz, H-2a);  $^{13}\text{C-NMR}$  (150 MHz,  $\text{CD}_3\text{OD}$ )  $\delta$ : 176.5 (C-7), 168.9 (C-1'), 150.4 (C-7'), 149.4 (C-6'), 146.8 (C-3'), 127.9 (C-4'), 124.1 (C-9'), 116.5 (C-8'), 116.1 (C-2'), 111.7 (C-5'), 75.3 (C-1), 73.9 (C-4), 72.7 (C-5), 68.6 (C-3), 56.4 (6'-OCH<sub>3</sub>), 52.9 (7-OCH<sub>3</sub>), 40.8 (C-2), 36.4 (C-6)。以上数据与文献 (李胜峰等, 2020) 基本一致, 故鉴定为 5-O-阿魏酰奎宁酸甲酯 (5-O-Ferulylquinic acid methyl ester)。

### 3.2 DPPH 法测定化合物清除自由基能力的结果

由表 1 可知, 所测 15 个化合物中, 仅化合物 **12** 表现出较好的抗氧化活性,  $\text{IC}_{50}$  值为  $49.58 \mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ 。其他化合物未显示抗氧化活性,  $\text{IC}_{50}$  值  $> 1\ 000 \mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ 。

表 1 DPPH 法测定 15 个化合物的自由基清除能力  
Table 1 Determination of free radical scavenging abilities of 15 compounds by DPPH method

化合物 Compound	DPPH 自由基清除率 DPPH radical scavenging rate (%)	$\text{IC}_{50}$ ( $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ )
1	4.48	$> 1\ 000$
2	2.86	$> 1\ 000$
3	1.52	$> 1\ 000$
4	-3.68	$> 1\ 000$
5	3.63	$> 1\ 000$
6	2.00	$> 1\ 000$
7	-5.97	$> 1\ 000$
8	1.92	$> 1\ 000$
9	1.23	$> 1\ 000$
11	-0.98	$> 1\ 000$
12	-78.43	49.58
13	1.92	$> 1\ 000$
14	1.66	$> 1\ 000$
15	1.56	$> 1\ 000$
16	3.02	$> 1\ 000$

## 4 讨论与结论

开展农作物废弃物的再利用既是解决当前中药资源短缺的途径之一, 也是实现中药资源的可持续发展的战略 (邓家刚, 2010)。甘蔗作为药食

两用的植物,产量巨大,主要用于榨糖,而榨糖过程产生的副产物渣和叶主要作为废物丢弃或焚烧处理。如何科学合理地实现废物再利用,是目前待解决的主要问题之一,而从化学成分的角度出发也许是主要方法之一。基于此,本文对甘蔗渣和叶进行了系统的化学成分研究,从甲醇提取物中共分离鉴定 22 个化合物,结构类型涉及黄酮类、酚酸类、酯类、木质素、苯丙素类等,其中 5 个为黄酮类、6 个为酚酸类,揭示了黄酮类及酚酸类物质为甘蔗渣和叶的主要成分,基本阐明了其化学成分谱。黄酮类及酚酸类成分往往具有显著的生物活性,如灯盏花富含黄酮成分,以此开发的灯盏花素片和注射液临床用于治疗心脑血管疾病(张雪冰,2020);柳树皮富含酚酸成分水杨酸,以此开发的水杨酸乳膏临床用于治疗脂溢性皮炎、银屑病等(胡杏林等,2021)。本研究为获取黄酮类和酚酸类成分提供了一条途径,同时为甘蔗渣和叶的开发利用奠定了一定的化学基础。

分离鉴定的化合物中,化合物 **4** (香草醛) 为主要高含量的核心成分。香草醛为一种重要的香味物质,在医药领域应用广泛。常作为药物合成的原料,如用于合成治疗腹泻黄连素、治疗高血压的药物 L-甲基多巴制剂(商品名 Aldomet)、治疗上呼吸道感染和防治性病菌株传播的甲氧基氨基吡啶及治疗心脏病的药物罂粟碱等(杨晓慧等,2010)。全球对香草醛需求量较大,约为 1.2 万 t,市场供不应求。目前,香草醛的获取除来自植物外,尚有采用木质素为前体物进行化学合成。甘蔗中富含香草醛且资源丰富,生产成本相对较低,可考虑作为获取香草醛的原料,是变废为宝的一条优质途径。

自由基是导致多种疾病产生的根源,如何消除自由基,增强抗氧化能力,从植物中寻找安全有效的抗氧化物质成为当前的研究热点。魏纪湖等(2016)研究表明黄酮类和酚酸类物质,具有抗氧化、抗炎、降血脂、降血糖、抗细胞增殖等多种生理活性,被认为是潜在的外源性抗氧化剂原料。为了挖掘相关活性成分,本研究采用 DPPH 法测定甘蔗中 15 个高含量化合物 (**1-9**、**11-16**) 的清除自由基能力,结果表明化合物 **12** 具有较好的抗氧化活性。除了优良抗氧化活性以外,化合物 **12** 还具有相对高的含量,通过进一步加深其抗氧化活性研究,并对其进行科学分析和评价,化合物 **12** 可能成为潜在的抗氧化活性前景分子,为废弃物甘蔗渣和叶的深度开发提供了化学和药理基础。

## 参考文献:

- ANG WJ, LO LC, LAM YL, et al., 2014. Expedient carbonylation of aryl halides in aqueous or neat condition [J]. *Tetrahedron*, 70(45): 8545-8558.
- CAO Y, ZANG YC, CHENG ZG, et al., 2021. Chemical constituents from *Artemisia rupestris* and their neuraminidase inhibitory activity [J]. *Nat Prod Res*, 35(11): 1775-1782.
- DENG JG, 2010. Strategic significance and basic ideas of medicinal research on crop waste [J]. *Guangxi Trad Chin Med*, 33(1): 1-3. [邓家刚, 2010. 农作物废弃物药用研究的战略意义与基本思路 [J]. *广西中医药*, 33(1): 1-3.]
- EL-KADER AMA, MAHMOUD BK, HAJJAR D, et al., 2020. Antiproliferative activity of new pentacyclic triterpene and a saponin from *Gladiolus segetum* Ker-Gawl corms supported by molecular docking study [J]. *RSC Adv*, 10(38): 22730-22741.
- Editorial Committee of Flora of China, Chinese Academy of Sciences, 2004. *Saccharum officinarum* [M]//Flora Reipublicae Popularis Sinicae. Beijing: Science Press: 41-42. [中国科学院中国植物志编辑委员会, 2004. 甘蔗 [M]//中国植物志. 北京: 科学出版社: 41-42.]
- FEDOROVA TE, FEDOROV SV, BAKIN VA, 2016. Oligolignans in the wood of *Picea obovata* Ledeb. [J]. *Russ J Bloorg Chem*, 42(7): 712-715.
- FENG SM, 2017. Research on phytochemicals composition, bioactivities and related mechanisms of phytosterols in sugarcane [D]. Hangzhou: Zhejiang University. [冯思敏, 2017. 甘蔗中植物化学素组成及其中甾醇功能活性和相关机理的研究 [D]. 杭州: 浙江大学.]
- GUI YY, XIAN W, LIANG Q, et al., 2012. Extraction and antioxidant activity of polysaccharide from sugarcane leaves [J]. *SW Chin J Agric Sci*, 25(4): 1218-1221. [桂意云, 贤武, 梁强, 等, 2012. 甘蔗叶片多糖的提取及体外抗氧化作用 [J]. *西南农业学报*, 25(4): 1218-1221.]
- HAN RX, ZHANG HY, ZHAO DQ, et al., 2020. Study on flavonoids and their biological activities in *Filipendula palmata* (Pall.) Maxim. [J]. *Lishizhen Med Mat Med Res*. 31(5): 1106-1110. [韩荣欣, 张红印, 赵大庆, 等, 2020. 蚊子草中黄酮类成分及其生物活性研究 [J]. *时珍国医国药*, 31(5): 1106-1110.]
- HE XM, SUN J, LI L, et al., 2015. Antioxidant and antitumor activities of polyphenol compounds from sugarcane top [J]. *Sci Technol Food Ind*, 36(23): 243-247. [何雪梅, 孙健, 李丽, 等, 2015. 蔗梢多酚类化合物抗氧化与抗肿瘤活性研究 [J]. *食品工业科技*, 36(23): 243-247.]
- HORI K, WATANABE T, DEVKOTA HP, 2021. Phenolic acid derivatives, flavonoids and other bioactive compounds from the leaves of *Cardiocrinum cordatum* (Thunb.) Makino (Liliaceae) [J]. *Plants*, 10(2): 1-7.
- HOU XT, 2014. Research on chemical constituents and pharmacodynamics of sugarcane leaves [D]. Nanning:



- Guangxi Medical University. [侯小涛, 2014. 甘蔗叶化学成分及药效学研究 [D]. 南宁: 广西医科大学.]
- HUANG QL, TAN ZQ, WU LY, et al., 2017. Research for the t-BuOK-catalyzed synthesis of aromatic aldehydes and ketone from arylmethyl azides [J]. *Organic Chem*, 37(1): 97-102. [黄青兰, 谭志强, 吴禄勇, 等, 2017. 叔丁醇钾催化芳甲基叠氮化合物合成芳醛和芳酮的反应研究 [J]. *有机化学*, 37(1): 97-102.]
- HU XL, CHENG X, WANG YL, et al., 2021. Clinical study of salicylic acidanti-dandruffhari lotion in treating scalp seborrhoeic dermatitis [J]. *J Dis Monit Control Aug*, 15(4): 258-261. [胡杏林, 程茜, 王媛丽, 等, 2021. 水杨酸去屑护发露治疗头皮脂溢性皮炎临床疗效研究 [J]. *疾病监测与控制*, 15(4): 258-261.]
- Jiangsu New Medical College, 2006. A Dictionary of the Traditional Chinese Medicine; Vol. I [M]. Shanghai: Shanghai Scientific & Technical Publishers. [江苏新医学院, 2006. 中药大辞典: 上册 [M]. 上海: 上海科学技术出版社.]
- JIA LL, NA L, LONG C, et al., 2017. New neo-lignan from *Acanthopanax senticosus* with protein tyrosine phosphatase 1B inhibitory activity [J]. *Arch Pharm Res*, 40(11): 1265-1270.
- JIANG H, SU JP, FANG FX, et al., 2012. Extraction and isolation of polysaccharide from sugarcane leaves and its antitumor effect *in vitro* [J]. *J Clin Ration Drug Use*, 5(15): 28-29. [江恒, 苏纪平, 方锋学, 等, 2012. 甘蔗叶多糖的提取分离及体外抗肿瘤作用研究 [J]. *临床合理用药杂志*, 5(15): 28-29.]
- LI M, ZENG MN, FENG WS, et al., 2019. Chemical constituents from the seeds of *Lepidium apetalum* [J]. *Chin Trad Pat Med*, 41(1): 105-110. [李孟, 曾梦楠, 冯卫生, 等, 2019. 北葶苈子化学成分的研究 [J]. *中成药*, 41(1): 105-110.]
- LI SF, LIU H, LI ZL, et al., 2020. A new sesquiterpene glycoside from kiwifruit of soft jujube [J]. *Chin Trad Herb Drugs*, 51(2): 299-305. [李胜峰, 刘宏, 李占林, 等, 2020. 软枣猕猴桃果实中 1 个新的降倍半萜苷类化合物 [J]. *中草药*, 51(2): 299-305.]
- LI XH, YUAN MR, DONG X, et al., 2022. Chemical composition of Zhejiang *Ophiopogon japonicus* [J]. *Chin Trad Herb Drugs*, 53(2): 347-353. [李小辉, 袁名睿, 董汛, 等, 2022. 浙麦冬的化学成分研究 [J]. *中草药*, 53(2): 347-353.]
- LOU HB, WANG XH, LI FS, et al., 2021. Chemical constituents from the stems and leaves of *Saccharum officinarum* [J]. *Chin Trad Pat Med*, 43(8): 2086-2091. [娄红波, 王先宏, 李富生, 等, 2021. 甘蔗茎叶化学成分的研究 [J]. *中成药*, 43(8): 2086-2091.]
- MALAK LG, BISHAY DW, ROSS SA, et al., 2013. New anthraquinone derivatives from *Geosmithia lavendula* [J]. *Nat Prod Comm*, 8(2): 191-194.
- QIAN QG, CAI L, ZHOU XJ, et al., 2019. Chemical constituents from *Carpesium abrotanoides* [J]. *Chin Trad Pat Med*, 43(11): 2671-2675. [钱群刚, 蔡亮, 周小江, 等, 2019. 天名精化学成分的研究 [J]. *中成药*, 43(11): 2671-2675.]
- REN G, CHEN YT, CHEN YL, et al., 2020. Phytochemical investigation of leaves of *Dendrobium officinale* [J]. *Chin Trad Herb Drugs*, 51(14): 3637-3644. [任刚, 陈优婷, 陈云龙, 等, 2020. 铁皮石斛叶的化学成分研究 [J]. *中草药*, 51(14): 3637-3644.]
- XIAO ZY, LIU Y, KUANG HX, et al., 2020. Chemical constituents of flavonoids from the aerial parts of *Bupleurum chinense* [J]. *J Chin Med Mat*, 43(11): 2679-2683. [肖宗雨, 刘艳, 匡海学, 等, 2020. 黄芩类化学成分研究 [J]. *中药材*, 43(11): 2679-2683.]
- WEI JH, LAN C, TIAN L, 2016. Analysis and evaluation of medicinal value and comprehensive utilization of sugarcane leaves [J]. *Popular Sci Technol*, 18(6): 84-86. [魏纪湖, 蓝崇, 田林, 2016. 甘蔗叶的药用价值评价与综合利用浅析 [J]. *大众科技*, 18(6): 84-86.]
- WU MT, LIU SY, ZHOU SQ, et al., 2021. Chemical constituents from the leaves of *Cinnamomum camphora* var. *linaloolifera* and their anti-inflammatory activities [J]. *Chin J Mat Med*, 46(14): 3592-3598. [吴美婷, 刘诗瑶, 邹双全, 等, 2021. 芳樟叶的化学成分及其抗炎活性研究 [J]. *中国中药杂志*, 46(14): 3592-3598.]
- XU XL, YANG HJ, PAUL V, et al., 2017. Chemical diversity from a chinese marine red alga, *Symphyclocladia latiuscula* [J]. *Mar Drugs*, 15(12): 374.
- YAN JK, ZHANG XY, QIU F, et al., 2021. Study on flavonoids from leaves of *Eucommia ulmoides* [J]. *Mod Chin Med*, 23(4): 599-604. [闫建昆, 张翔宇, 邱峰, 等, 2021. 杜仲叶中黄酮类化学成分研究 [J]. *中国现代中药*, 23(4): 599-604.]
- YAN Y, ZHAO J, SONG XB, et al., 2017. Study on the chemical constituents of *Scorzonera mongolica* Maxim. [J]. *Tianjin Univ Trad Chin Med*, 36(6): 470-473. [闫彦, 赵静, 宋新波, 等, 2017. 蒙药蒙古鸢葱化学成分的研究 [J]. *天津中医药大学学报*, 36(6): 470-473.]
- YANG XH, ZHOU YH, ZHANG M, et al., 2010. Research progress in preparation of vanillin from lignin [J]. *J Cell Sci Technol*, 18(4): 49-54. [杨晓慧, 周永红, 张猛, 等, 2010. 木质素制备香草醛的研究进展 [J]. *纤维素科学与技术*, 18(4): 49-54.]
- ZHANG XB, 2020. Effect of breviscapine injection combined with clopidogrel bisulfate tablets on cerebral infarction [J]. *Henan Med Res*, 29(29): 5493-5495. [张雪冰, 2020. 灯盏花素注射液联合硫酸氢氯吡格雷片治疗脑梗死的效果 [J]. *河南医学研究*, 29(29): 5493-5495.]
- ZHOU YY, GAO HR, YANG BY, et al., 2020. Chemical constituents from *Atractylodes japonica* [J]. *Chin Trad Pat Med*, 42(10): 2640-2643. [周媛媛, 高蕙蕊, 杨炳友, 等, 2020. 关苍术化学成分的研究 [J]. *中成药*, 42(10): 2640-2643.]