小叶箬竹叶酚酸化学成分及体外抗氧化活性研究

许子竞[1*],薛　站[1],杨雪清[2],陶文亮[2]

[1]贵州工程应用技术学院化学工程学院天然产物中心,毕节 551700;[2] 贵州民族大学化学工程学院,贵阳 550025

摘　要:研究小叶箬竹叶酚酸化学成分及体外抗氧化活性。借助微波用 50% 乙醇溶液提取小叶箬竹叶,提取物用石油醚和正丁醇进行萃取。正丁醇萃取物用硅胶柱色谱、Sephadex LH-20 凝胶柱色谱、半制备 HPLC 等方法进行反复分离纯化,从中分离纯化得到 10 个酚酸类化合物,分别鉴定为芥子酸(**1**)、阿魏酸(**2**)、对香豆酸(**3**)、丁香酸(**4**)、咖啡酸(**5**)、香草酸(**6**)、绿原酸(**7**)、对羟基苯甲酸(**8**)、龙胆酸(**9**)和原儿茶酸(**10**)。将正丁醇萃取物进行半制备,获得小叶箬竹叶自然酚酸组成混合物,将其配成一系列浓度的溶液与同浓度 V_C 进行体外抗氧化对照试验,发现其清除能力在 5.0 mg/mL 时与阳性对照 V_C 的清除能力基本接近,清除率分别为 79.01% 和 70%,表明小叶箬竹叶所含酚酸化合物抗氧化能力很强。

关键词:小叶箬竹叶;提取分离;化学成分;结构鉴定;抗氧化活性

中图分类号:R284　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1001-6880(2024)Suppl-0054-05

DOI:10.16333/j.1001-6880.2024.S.008

Phenolic acid from *Indocalamus victorialis* Keng f. and its antioxidant activity *in vitro*

XU Zi-jing[1*],XUE Zhan[1],YANG Xue-qing[2],TAO Wen-liang[2]

[1]*Natural Products Center of Chemical Engineering,College of Guizhou Institute of Engineering Application Technology,Bijie 551700,China*;

[2]*College of Chemical Engineering,Guizhou Minzu University,Guiyang 550025,China*

Abstract:This study aims to investigate the phenolic acid from *Indocalamus victorialis* Keng f. and its antioxidant activity *in vitro*. The leaves from *I. victorialis* were extracted by microwave with 50% ethanol and the extraction was extracted with petroleum ether and n-butanol in order. Ten phenolic acids were isolated from n-butanol extraction by repeated separation and purification with silica gel column chromatography,Sephadex LH-20 gel column chromatography and semi-preparative HPLC,their structures were identified as myrosinic acid (**1**),ferulic acid (**2**),*p*-coumaric acid (**3**),syringic acid (**4**),caffeic acid (**5**),vanillic acid (**6**),chlorogenic acid (**7**),*p*-hydroxybenzoic acid (**8**),gentaric acid (**9**) and protocatechuic acid (**10**). The mixture of natural phenolic acids from *I. victorialis* leaves was obtained by semi-preparation from n-butanol extract,and then mixed into a series of solutions with the same concentration of V_C to carry out *in vitro* antioxidant control experiments. The scavenging rate of V_C was similar to that of the positive control at 5.0 mg/mL,the scavenging rate was 79.01% and 70% respectively,indicating that the phenolic compounds in *I. victorialis* leaves had strong antioxidant activity.

Key words:*Indocalamus victorialis* leaves;extraction and isolation;chemical constituents;structure identification;antioxidant activity

箬竹为竹亚科(Bambusoideae)箬竹属(*Indocalamus*)的箬竹植物,灌木状,喜温暖湿润的气候,稍耐寒,喜土壤湿润。箬竹在我国有 20 多种,主要分布于江苏、浙江、安徽、江西等长江流域,一般丛簇生长在河滩、山坡、田埂边坡荒废有水的地方,资源十分丰富。小叶箬竹(*Indocalamus victorialis*)又称胜利箬竹,秆高 1 ~ 1.5 m,径 5 mm,节间长 15 ~ 25 cm,节上被黄色茸毛。秆环隆起,箨环木栓质,箨鞘近革质。末级小枝具叶 3 ~ 4 枚,叶片宽披针形,叶型较小,美观,作为良好的风景园林竹种,已被广泛

收稿日期:2023-07-14　　接受日期:2024-06-03

基金项目:贵州省科技计划项目(黔科合支撑[2020]4Y04);贵州民族大学校级科研平台建设项目(校科平台字[2019]03)

* 通信作者 E-mail:xuzj227@13.com

天然产物研究与开发

运用。现代药理研究发现,在箬竹叶中含有大量的活性成分,如竹多糖,竹叶黄酮和竹酚酸类化合物[1,2]。酚酸类化合物是普遍存在的次生代谢产物,是酚类物质其中一类,其在植物体内主要由糖酵解及磷酸戊糖途径生成的中间体经莽草酸途径和苯丙烷类代谢途径合成[3,4]。大量研究表明,酚酸类化合物对人体具有抗氧化、抗癌、抗菌等功效[5]。

目前对小叶箬竹叶的化学成分研究未见报道,随着对竹叶生物活性有效成分的进一步研发,箬竹的叶用和药用价值越来越受到关注。本课题组前期研究发现,箬竹叶提取物具有显著的抗氧化活性和抗菌活性,为进一步探索其化学组成,本文对小叶箬竹叶用70%乙醇进行微波辅助提取,提取物适当浓缩后,用石油醚和正丁醇按顺序萃取,对正丁醇萃取物进行了化学成分研究,分离纯化出酚酸化学成分,并按其天然的组成比例,配成组成组分浓度,与Vc在同浓度下进行体外抗氧化活性研究[6],探讨小叶箬竹叶资源的开发应用。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

植物材料由广西植物研究所提供,并由该所何瑞杰园艺师鉴定为小叶箬竹 *Indocalamus victorialis* 的叶。

薄层色谱用硅胶 GF_{254} 和柱色谱硅胶(200~300目,青岛海洋化工厂生产);LH-20 羟丙基葡聚糖凝胶(Sephadex LH-20,40~70 μm,美国 Amersham Pharmacia 公司);GF_{254} 硅胶制备薄层板(烟台江友硅胶开发有限公司);乙醇、石油醚、正丁醇及其它所用试剂均为分析纯;甲醇为色谱纯。

1.2 仪器与设备

AVANCE III 500 核磁共振谱仪(美国 Bruker 公司);Synapt G2 Tof-HDMS 型质谱仪(美国 Waters 公司);1290 Infinity II 半制备 HPLC 和分析型 1260 HPLC(美国 Agilent 公司);MP470 型熔点仪(海能未来公司);RE52-99 旋转蒸发器(上海亚荣生化仪器厂);20-100 型微波提取器(天水华圆制药设备公司)。

1.3 提取与分离

将20 kg干燥小叶箬竹叶粉碎,称取16 kg,用于微波设备提取(微波20 kW,体积100 L)物料分2批次提取,提取溶剂50%乙醇溶液,提取时间40 min/次,提取温度60 ℃,料液比1∶8 g/mL,提取3次,合并提取液,浓缩成稀流膏,将稀流膏分别用石油醚和正丁醇萃取,分别得到干膏质量243.2 g和93.8 g.

取正丁醇萃取物(其中的83.8 g),乙酸乙酯硅胶柱层析湿法上柱,用乙酸乙酯∶甲醇(20∶1→10∶1→5∶1→3∶1)4个梯度洗脱,TLC检测合并得4个组分 Fr.1~Fr.4;Fr.4 经 Sephadex LH-20(水∶甲醇=100∶0→80∶1→60∶1)洗脱,得 Fr.4-1、Fr.4-2、Fr.4-3 三组分,经 TLC 检测合并和经 Pre-HPLC(15%甲醇水溶液)分离纯化,得化合物 **10**(t_R=9.2 min,26.4 mg),化合物 **9**(t_R=11.4 min,18.6 mg)、**8**(t_R=13.1 min,23.9 mg);Fr.3 经 Sephadex LH-20(水∶甲醇=90∶0→75∶1→60∶1→45∶1)洗脱,TLC 检测合并得4个组分 Fr.3-1~Fr.3-4,经 Pre-HPLC(25%甲醇-水溶液)分离纯化,得化合物 **7**(t_R=14.3 min,22.3 mg)、**6**(t_R=15.5 min,24.1 mg)、**5**(t_R=17.1 min,22.6 mg)、**4**(t_R=19.3min,20.6 mg);Fr.2 经 Sephadex LH-20 洗脱(水∶甲醇=85∶0→60∶1→40∶1)洗脱,TLC 检测合并得3个组分 Fr.3-1~Fr.3-3;和经 Pre-HPLC(35%甲醇水溶液)分离纯化,得化合物 **3**(t_R=23.1 min,25.3 mg)、**2**(t_R=26.5 min,18.1 mg)、**1**(t_R=30.7 min,17.6 mg)。

1.4 小叶箬叶酚酸化合物体天然组成分的制备

取10 g正丁醇浸膏,用分析甲醇溶解,离心,过滤,用于半制备。

半制备色谱条件:Agilent ZORBAX StableBond C_{18}(250 mm×20 mm,5 μm);柱温:30 ℃,紫外检测波长:254 nm和360 nm,流速:1 mL/min,进样体积:10 μL。流动相A:含0.1%磷酸的水溶液,流动相B:甲醇;梯度洗脱:0~10 min,12% B→23% B;10~30 min,23% B→35% B;30~35 min,35% B→40% B;35~40 min,40% B→32% B;40~45 min,32% B→24% B;45~50 min,24% B→12% B。半制备液收集时间为18~19、26~35、43~49.5 mim 三个时间段(见图1)。

酚酸化合物 **1~10** 的保留时间分别为18.426 min(原儿茶酸)、26.531 min(龙胆酸)、27.923 min(对羟基苯甲酸)、29.674 min(绿原酸)、31.106 min(香草酸)、32.240 min(咖啡酸)、34.715 min(丁香酸)、43.819 min(香豆酸)、45.199 min(阿魏酸)、49.179 min(芥子酸)。

1.5 小叶箬竹叶酚酸天然组成组分抗氧化活性的研究

称取"1.4"步骤自然制得的酚酸化合物,分别

天然产物研究与开发

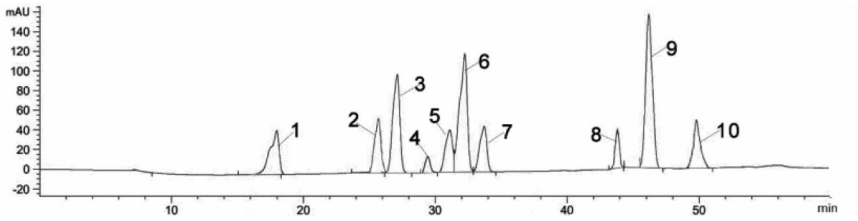

图 1　10 个酚酸化合物的 HPLC 图谱

Fig. 1　HPLC chromatogram of ten phenol acid

注:1. 原儿茶酸;2. 龙胆酸;3. 对羟基苯甲酸;4. 绿原酸;5. 香草酸;6. 咖啡酸;7. 丁香酸;8. 香豆酸;9. 阿魏酸;10. 芥子酸。Note:1. Myrosinic acid;2. Ferulic acid;3. *p*-Coumaric acid;4. Syringic acid;5. Caffeic acid;6. Vanillic acid;7. Chlorogenic acid;8. *p*-Hydroxybenzoic acid;9. Gentaric acid;10. Protocatechuic acid.

配成浓度 0.25、0.5、0.75、1.0、2.0、3.0、4.0、5.0 mg/mL 的乙醇溶液各 30 mL,进行体外抗氧化试验。

2　结果

2.1　结构鉴定

化合物 1　白色晶体(甲醇);ESI-MS:*m/z* 225.7 $[M+H]^+$,分子式 $C_{11}H_{12}O_5$。^{1}H NMR(500 MHz, CD_3OD)δ:7.6(1H,d,*J*=16.0 Hz,H-7),6.9(2H,s,H-2,6),6.3(1H,d,*J*=16.0 Hz,H-8),3.3(2H,s,3,5-OCH_3);^{13}C NMR(150 MHz, CD_3OD)δ:125.3(C-1),106.7(C-2,6),149.4(C-3,5),139.3(C-4),145.5(C-7),115.0(C-8),169.9(C-9),55.9(3,5-OCH_3)。以上数据与文献[7]报道数据基本一致,故鉴定化合物 **1** 为芥子酸。

化合物 2　无色针状结晶(氯仿-甲醇);mp. 171~173 ℃;ESI-MS:*m/z* 193.1 $[M-H]^-$,分子式 $C_{10}H_{10}O_4$。^{1}H NMR(500 MHz, DMSO-d_6)δ:7.5(1H,d,*J*=16.0 Hz,H-7),7.3(1H,d,*J*=2.0 Hz,H-2),7.0(2H,dd,*J*=8.0,2.0 Hz,H-6),6.9(1H,d,*J*=8.0 Hz,H-5),6.4(1H,d,*J*=16.0 Hz,H-8),3.4(3H,s,3-OCH_3);^{13}C NMR(125 MHz, DMSO-d_6)δ:126.7(C-1),111.8(C-2),149.8(C-3),149.6(C-4),116.0(C-5),123.3(C-6),144.8(C-7),116.4(C-8),56.5(3-OCH_3),169.4(C=O)。以上数据与文献[8]报道数据基本一致,故鉴定化合物 **2** 为阿魏酸。

化合物 3　白色针晶(甲醇);ESI-MS:*m/z* 165.1 $[M+H]^+$,分子式为 $C_9H_8O_3$。^{1}H NMR(500 MHz, CD_3OD)δ:7.6(1H,d,*J*=16.0 Hz,H-7),7.5(2H,d,*J*=8.5 Hz,H-2,6),6.8(2H,d,*J*=8.5 Hz,H-3,5),6.3(1H,d,*J*=16.0 Hz,H-8);^{13}C NMR(125 MHz, CD_3OD)δ:126.9(C-1),129.7(C-2,6),115.4(C-3,5),159.8(C-4),145.3(C-7),114.2(C-8),169.6(C-9)。以上数据与文献[9]报道数据基本一致,故鉴定化合物 **3** 为对香豆酸。

化合物 4　无色透明羽状针晶(甲醇);ESI-MS:*m/z* 197.0 $[M-H]^-$,分子式为 $C_9H_{10}O_5$;^{1}H NMR(500 MHz, CD_3OD)δ:12.0(s,OH),9.2(s,COOH),7.2(2H,d,H-2,6),3.8(6H,s,3,5-OCH_3);^{13}C NMR(125 MHz, CD_3OD)δ:121.0(C-1),107.5(C-2,6),147.9(C-3,C-5),140.8(C-4),169.1(C-7),56.5(3,5-OCH_3)。以上数据与文献[10]报道数据基本一致,故鉴定化合物 **4** 为丁香酸。

化合物 5　无色片状结晶(甲醇);mp 209~210 ℃;ESI-MS:*m/z* 181.0 $[M+H]^+$,分子式 $C_9H_8O_4$。^{1}H NMR(500 MHz, CD_3OD)7.9(1H,d,*J*=16.0 Hz,H-7),7.0(1H,d,*J*=2.0 Hz,H-2),7.0(1H,dd,*J*=8.0,2.0 Hz,6-H),6.8(1H,d,*J*=8.0 Hz,H-5),6.2(1H,d,*J*=16.0 Hz,H-8);^{13}C NMR(125 MHz, CD_3OD)δ:126.7(C-1),115.7(C-2),145.7(C-3),149.2(C-4),114.1(C-5),121.5(C-6),146.7(C-7),115.1(C-8),171.1(C-9)。以上数据与文献[11]报道数据基本一致,故鉴定化合物 **5** 为咖啡酸。

化合物 6　无色透明针晶(甲醇);ESI-MS:*m/z* 191.5 $[M+Na]^+$,分子式为 $C_8H_8O_4$。^{1}H NMR(500 MHz, CD_3OD)δ:7.6(1H,dd,*J*=9.0,2.0 Hz,H-6),6.8(1H,d,*J*=9.0 Hz,H-5),7.5(1H,d,*J*=2.0 Hz,H-2),3.7(3H,s,3-OCH_3);^{13}C NMR(125 MHz, CD_3OD),δ:121.6(C-1),112.9(C-2),147.3(C-3),151.5(C-4),114.6(C-5),124.2(C-6),169.8(C-7),55.1(3-OCH_3)。以上数据与文献[12]报道数据基本一致,故鉴定化合物 **6** 为香草酸。

化合物 7　白色粉末;ESI-MS:*m/z* 355.0 $[M+H]^+$,分子式为 $C_{16}H_{18}O_9$。^{1}H NMR(500 MHz, CD_3OD)δ:7.6(1H,d,*J*=16.0 Hz,H-7′),7.0(1H,d,*J*=2.0 Hz,H-2′),6.9(1H,dd,*J*=8.0,2.0 Hz,H-

天然产物研究与开发

6′),6.7(1H,d,J=8.0 Hz,H-5′),6.3(1H,d,J=16.0 Hz,H-8′),5.2(1H,td,J=8.0,4.0 Hz,H-5),4.0~4.1(1H,m,H-3),3.7(1H,dd,J=8.0,4.0 Hz,H-4),2.0~2.3(4H,m,H-2,6);^{13}C NMR(125 MHz,CD_3OD)δ:75.0(C-1),38.2(C-2),70.7(C-3),73.0(C-4),72.5(C-5),38.0(C-6),175.6(C-7),126.7(C-1′),115.0(C-2′),146.4(C-3′),149.6(C-4′),116.3(C-5′),122.4(C-6′),147.7(C-7′),116.0(C-8′),168.4(C-9′)。以上数据与文献[13]报道数据基本一致,故鉴定化合物**7**为绿原酸。

化合物8　灰色粉末;ESI-MS:m/z 139.0 [M+H]$^+$,分子式为 $C_7H_6O_3$。^{1}H NMR(500 MHz,CD_3OD)δ:12.5(s,OH),10.2(s,COOH),7.8(2H,d,J=8.0 Hz,H-2,6),6.8(2H,d,J=8.0 Hz,H-3,5);^{13}C NMR(125 MHz,CD_3OD)δ:122.4(C-1),133.4(C-2,6),116.0(C-3,5),163.4(C-4),170.3(C-7)。以上数据与文献[14]报道数据基本一致,故鉴定化合物**8**为对羟基苯甲酸。

化合物9　黄色固体粉末;ESI-MS:m/z 152.7 [M-H]$^-$,分子式为 $C_7H_6O_4$。^{1}H NMR(500 MHz,DMSO-d_6)δ:7.3(1H,d,J=3.0 Hz,H-6),7.0(1H,dd,J=9.0,3.0 Hz,H-4),6.8(1H,d,J=8.6 Hz,H-3);^{13}C NMR(125 MHz,DMSO-d_6)δ:112.5(C-1),155.4(C-2),114.6(C-3),123.5(C-4),149.4(C-5),117.5(C-6),172.1(C-7)。以上数据与文献[15]报道数据基本一致,故鉴定化合物**9**为龙胆酸。

化合物10　无色针状结晶(甲醇);mp.198~200 ℃;ESI-MS:m/z 153.0 [M-H]$^-$,分子式为 $C_7H_6O_4$。^{1}H NMR(500 MHz,$CDCl_3$)δ:7.5(1H,d,J=2.5 Hz,H-2),7.4(2H,d,J=8.0,2.5 Hz,H-6),6.8(1H,d,J=8.0 Hz,H-5);^{13}C NMR(125 MHz,$CDCl_3$)δ:122.5(C-1),116.8(C-2),145.1(C-3),150.4(C-4),114.7(C-5),121.7(C-6),169.9(C-7)。以上数据与文献[16]报道数据基本一致,故鉴定化合物**10**为原儿茶酸。

2.2　酚酸化合物半制备的结果

将10 g小叶箬竹叶正丁醇萃取物制备液收集合并,冷冻干燥,得0.75 g干品。

2.3　正丁醇萃取物对DPPH自由基的清除能力

由图2可知,箬叶酚酸对DPPH自由基的清除能力较强,酚酸浓度从0.25 mg/mL上升到3.0 mg/mL时,其清除率随浓度增加而升高,当浓度增到3.0 mg/mL时,清除率达到79.01%,之后酚酸浓度增加,清除率增加缓慢。当浓度达到5.0 mg/mL时,酚酸对DPPH自由基的清除能力与V_C基本持平,表明箬竹叶酚酸对DPPH自由基具有较强的清除能作用。

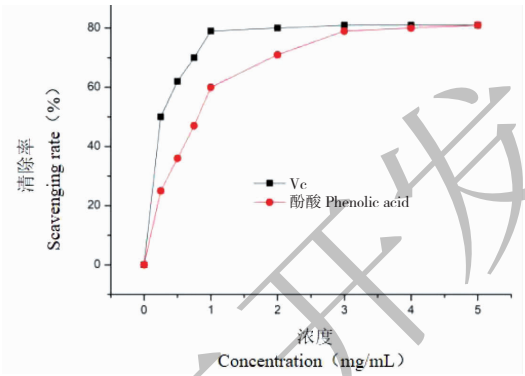

图2　酚酸对DPPH自由基的清除率

Fig.2　Scavenging rate of phenolic acid on DPPH radical

2.4　箬竹叶酚酸对OH自由基的清除能力

由图3可知,箬叶酚酸浓度从0.25 mg/mL上升到3.0 mg/mL时,对OH自由基的清除能力从14.0%提高到69.0%,但当酚酸浓度达到3.0 mg/mL后,随着浓度的提高,对的清除能力增加缓慢;当酚酸浓度为5.0 mg/mL时,与阳性对照V_C相比,酚酸的清除能力可达V_C的70%,由此表明箬竹酚酸对OH自由基有一定清除能力。

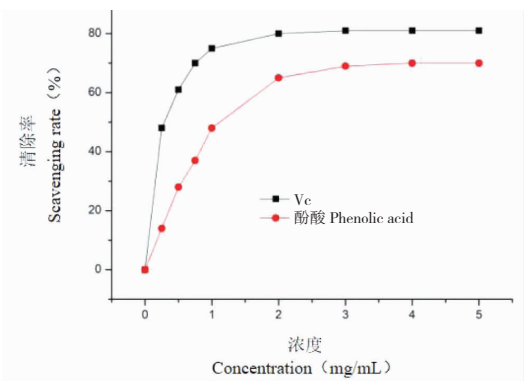

图3　酚酸对OH自由基清除率

Fig.3　Scavenging rate of phenolic acid on hydroxyl radical

3　结论

小叶箬竹叶用50%乙醇借助微波辅助,经正丁醇萃取后,对萃取物进行分离纯化,得到是10个酚酸化合物,鉴定为芥子酸(**1**)、阿魏酸(**2**)、对香豆酸(**3**)、丁香酸(**4**)、咖啡酸(**5**)、香草酸(**6**)、绿原酸(**7**)、对羟基苯甲酸(**8**)、龙胆酸(**9**)和原儿茶酸(**10**),其中化合物**1**、**3**、**4**、**8~10**首次从箬竹叶中分

天然产物研究与开发

离得到。将正丁醇萃取物,经半制备制备后得到的天然组成酚酸化合物,对 DPPH 和 OH 自由基的抗氧化实验,其清除能力与同浓度的 Vc 基本接近,表明小叶箬竹叶所含酚酸化合物抗氧化能力很强。

参考文献

1 Zang YL, Zhao JC, Yang ZY, et al. Analysis of biochemical components and antioxidant capacity of *Indocalamus* leaves of different varieties[J]. Sci Tech Food Ind(食品工业科技), 2022,43:93-100.

2 Tian HT, Gao WJ Wen GS. Comparaative study of cold resistance characteristics in seven *Indocalamus* spp[J]. J Zhejiang Fore Coll(浙江林学院学报),2006,23:641-646.

3 Li J, Li YM, Gou YN, et al. Research progress in phenolic acid metabolism and allelopathic effect [J]. Heilongjiang Agri Sci(黑龙江农业科学),2019,8:175-182.

4 Ma Y, Wei Y, Wang M. A review of process in understand biosynthesis pathway and metabolic regulation of phenolic acids in cereals[J]. Food Sci(食品科学),2019,40:269-276.

5 Xu CN, Wang TY, Yao ZL, et al. Research progress of phenolic acids in citrus fruit[J]. Zhejiang Citrus(浙江柑橘), 2022,39:2-7.

6 He AY, Shi SY, Wei XJ, et al. Chemical constituents from the aerial parts of *Ficus tikoua* Bur. and their antionxidant activity[J]. J Nat Prod Res Dev(天然产物与开发),2022,34: 810-817.

7 Cao YG, Ren YJ, Liu YL, et al. Chemical Constituents of *Gardenia jasminoides* var. *grandiflora*[J]. J Chin Med Mater (中药材),2023,46:1167-1171.

8 Wang JX, Xue, HP, Guang CX, et al. Study on chemical constituents from n-BuOH extract of *Centipeda minima* (L.) A. Br. et Aschers[J]. J Tianjin Univ Tradit Chin Med(天津中医药大学学报),2021,40:253-258.

9 Wang JL, Qu L, Ruan JY et al. Study on the constituents of *Arachis hypogaea* Linn[J]. J Tianjin Univ Tradit Chin Med (天津中医药大学学报),2019,38:175-179.

10 Yu R, Zhang Y, Zheng DD, et al. Isolation and identification of phenolic components from *Penthorum chinense* Pursh[J]. Chin J Med Chem(中国药物化学志),2021,31:203-208.

11 Huo JH, Liu JF, Wang C, et al. Isolation and identification of chemical constituents from *Arenga Pinnata* fruits[J]. J Chin Med Mater(中药材),2021,44:339-342.

12 Fu Y, Yang DS, Lu MQ, et al. Isolation and identification of aromatic compounds from *Elaeagnus angustifolia* L[J]. Chin J Med Chem(中国药物化学杂志),2022,32:931-937.

13 Gao F, Wang ZH, Li HC, et al. Isolation and identification of phenylpropanonids from *Taraxacum ohwianum* Kitam leaves [J]. Chin J Med Chem(中国药物化学杂志),2022,32: 759-763.

14 Zhao RX, Wang M, Liu T, et al. Isolation and identification of chemical constituents from the seed shell of *Caesalpinia cucullata* Roxb[J]. J Shenyang Pharm Univ(沈阳药科大学学报),2021,38:1139-1143.

15 Zhao SC, Qin Y, Li JX, et al. Study on chemical constituents of the fruits of *Cannabis sativa* L[J]. J Shenyang Pharm Univ (沈阳药科大学学报),2023,40:413-421.

16 Lin WH, Feng Y, Su J, et al. Isolation and identifical of chemical componnents of *Senecio raphanifolius* Wall ex DC [J]. Chin J Med Chem(中国药物化学杂),2023,33:108-115.

天然产物研究与开发