

华中五味子根部木脂素类化学成分及其抗氧化活性研究

姜 侃^{1,2}, 郭晔红^{1,2}

1. 甘肃农业大学农学院, 甘肃 兰州 730070

2. 甘肃农业大学 省部共建干旱生境作物学国家重点实验室, 甘肃 兰州 730070

摘要: 目的 对药食同源植物华中五味子 *Schisandra sphenanthera* 根部的化学成分进行研究。方法 利用薄层色谱、柱色谱、半制备高效液相色谱等现代色谱方法分离纯化, 根据理化性质及波谱数据对化合物进行结构鉴定; 利用 ABTS⁺ 自由基清除的活性筛选技术对化合物进行抗氧化活性评价。结果 从华中五味子根部 70% 丙酮水提取物中分离鉴定了 23 个木脂素类化合物, 分别鉴定为 (-)-zuonin A (1)、erythro-1-(4-hydroxy-3-methoxyphenyl)-4-(3,4-methylenedioxyphenyl)-2,3-dimethylbutane (2)、奥斯楚拜脂素-5 (3)、9,9'-二羟基-澳白木脂素-5 (4)、(-)-8-羟基- α -铁杉脂素 (5)、(-)-戈米辛 M1 (6)、五味子乙素 (7)、五味子丙素 (8)、戈米辛 J (9)、(+)-戈米辛 k₃ (10)、五味子甲素 (11)、五味子醇甲 (12)、rubrisandrin B (13)、marlignan A (14)、rubrisandrin A (15)、滨南五味子乙素 (16)、异戈米辛 O (17)、marphenol A (18)、(7'R,8'S)-3,4-dimethoxy-3',4'-methylenedioxy-7,8-seco-7,7'-epoxylignan-7,8-dione (19)、(7'R,8'S)-3,4-methylenedioxy-3',4'-dimethoxy-7,8-seco-7,7'-epoxylignan-7,8-dione (20)、machilolin-A (21)、marphenol B (22)、3',4'-dimethoxy-benzoic acid-(3'',4''-dimethoxyphenyl)-3-oxobutyl ester (23)。结论 化合物 6、7、18~20、22 为首次从该植物中分离得到, 化合物 1~5、16、17 为首次从五味子属植物中分离得到。化合物 2~4、13 显示了一定的抗氧化能力, 半数抑制浓度 (median inhibition concentration, IC₅₀) 值分别为 23.0、16.5、10.8、16.0 $\mu\text{mol/L}$, 其中化合物 4 的抗氧化活性较好, 接近阳性对照维生素 C。

关键词: 华中五味子; 二芳基丁烷类木脂素; 联苯环辛烯类木脂素; 7,8-seco-木脂素; 抗氧化活性; 奥斯楚拜脂素-5; (-)-8-羟基- α -铁杉脂素

中图分类号: R284.1

文献标志码: A

文章编号: 0253-2670(2022)21-6666-08

DOI: 10.7501/j.issn.0253-2670.2022.21.003

Lignans chemical constituents of roots of *Schisandra sphenanthera* and their anti-oxidative effects

JIANG Kan^{1,2}, GUO Ye-hong^{1,2}

1. College of Agronomy, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China

2. State Key Laboratory of Aridland Crop Science, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China

Abstract: Objective To study the chemical constituents of the roots of *Schisandra sphenanthera*. **Methods** The isolation and purification were carried out by macroporous resin, Sephadex LH-20, silica gel column chromatography, semi-preparative HPLC. Their structures were elucidated on the basis of physicochemical properties and spectroscopic data. The anti-oxidant activity of the compounds was evaluated by ABTS⁺ radical scavenging method. **Results** Twenty-three compounds were isolated and elucidated from the roots of *S. sphenanthera*, their structures were identified as (-)-zuonin A (1), erythro-1-(4-hydroxy-3-methoxyphenyl)-4-(3,4-methylenedioxyphenyl)-2,3-dimethylbutane (2), austrobailignan-5 (3), 9,9'-dihydroxy-austrobailignan-5 (4), (-)-8-hydroxy- α -conidendrin (5), (-)-gomisin M1 (6), schisandrin B (7), schisandrin C (8), gomisin J (9), (+)-gomisin k₃ (10), deoxyschizandrin (11), γ -schizandrin (12), rubrisandrin B (13), marlignans A (14), rubrisandrin A (15), yunnankadsurin B (16), isogomisin O (17), marphenol A (18), (7'R,8'S)-3,4-dimethoxy-3',4'-methylenedioxy-7,8-seco-7,7'-epoxylignan-7,8-dione (19), (7'R,8'S)-3,4-methylenedioxy-3',4'-dimethoxy-7,8-seco-7,7'-epoxylignan-7,8-dione (20), machilolin-A (21), marphenol B (22) and 3',4'-dimethoxy-benzoic acid-(3'',4''-dimethoxyphenyl)-3-oxobutyl ester (23). **Conclusion** Compounds 6, 7, 18—20, 22 are isolated from *S. sphenanthera* for the first time. Compounds 1—5, 16 and 17 are isolated from the genus *Schisandra* for the first time. Compounds

收稿日期: 2022-04-21

基金项目: 甘肃省自然科学基金资助项目 (21JR7RA805); 甘肃农业大学公招博士科研启动基金项目 (GAU-KYQD-2019-01)

作者简介: 姜 侃 (1987—), 男, 甘肃民勤人, 副教授, 博士, 研究方向为天然药物化学。E-mail: jiangk19@126.com

2—4, 13 were more active than other compounds in the antioxidant activity with IC₅₀ value 23.0, 16.5, 10.8 and 16.0 μmol/L, respectively. The antioxidant activity of compound 4 was better, which was closed to the positive control vitamin C.

Key words: *Schisandra sphenanthera* Rehd. et Wils.; dibenzylbutanes lignans; dibenzoeyelooetadiene lignans; 7,8-seco-lignans; antioxidant activity; austrobailignan-5; (-)-8-hydroxy- α -conidendrin

华中五味子 *Schisandra sphenanthera* Rehd. et Wils. 为五味子属植物, 其果实可食用, 也可作为五味子果实的替代品用作药物使用^[1-3], 倍受历代医家推崇。如今, 作为药食同源之品, 五味子不仅作为中药饮片使用, 还应用于制成多种成方制剂和相关的保健品, 如定喘固金丸、护肝片、五味子胶囊、五味子片、五味子茶、五味子多糖口服液、五味子饮料等; 其果实、根、藤茎、叶、果柄以及全株均可利用, 是一种开发前景非常广阔的药食兼用的中药材。生活中, 也常常用五味子泡水、煮粥, 现代研究发现五味子具有保肝护肝、镇静催眠、降血糖、抗氧化、增强免疫力、抗癌等药理作用; 种子榨油后可以用来制作肥皂或者作为润滑油使用。华中五味子主产于甘肃、陕西、山西等省。

近些年, 中国科学院昆明植物研究所孙汉董课题组对华中五味子的茎叶进行过多次研究, 从中发现了很多高含氧三萜, 并表现了很好的抗癌以及抗艾滋病病毒活性^[4-8]。这引起天然产物化学家对华中五味子高度关注, 并对其进行了大量研究, 以期发现具有独特骨架和生物活性的化合物; 但是华中五味子根部的研究却未见报道。为了探索华中五味子根部的化学成分, 本实验对收集于陕西省太白山秦岭段华中五味子根部的化学成分进行系统研究, 对其 70%丙酮水提取物分别利用石油醚、醋酸乙酯、正丁醇进行了萃取, 薄层色谱检测显示醋酸乙酯部分所含化合物较为丰富, 因此本实验选择醋酸乙酯部分进行系统分离, 从中共分离得到 23 个化合物, 分别鉴定为(-)-zuonin A (1)、erythro-1-(4-hydroxy-3-methoxyphenyl)-4-(3,4-methylenedioxyphenyl)-2,3-dimethylbutane (2)、奥斯楚拜脂素-5 (austrobailignan-5, 3)、9,9'-二羟基-澳白木脂素-5 (9,9'-dihydroxy-austrobailignan-5, 4)、(-)-8-羟基- α -铁杉脂素 [(-)-8-hydroxy- α -conidendrin, 5]、(-)-戈米辛 M1 [(-)-gomisin M, 16]、五味子乙素 (schisandrin B, 7)、五味子丙素 (schisandrin C, 8)、戈米辛 J (gomisin J, 9)、(+)-戈米辛 k₃ [(+)-gomisin k₃, 10]、五味子甲素 (deoxyschizandrin, 11)、五味子醇甲 (γ -schizandrin, 12)、rubrisandrin B (13)、

marlignans A (14)、rubrisandrin A (15)、滨南五味子乙素 (yunnankadsurin B, 16)、异戈米辛 O (isogomisin O, 17)、marphenol A (18)、(7'R,8S)-3,4-dimethoxy-3',4'-methylenedioxy-7,8-seco-7,7'-epoxylignan-7,8-dione (19)、(7'R,8'S)-3,4-methylenedioxy-3',4'-dimethoxy-7,8-seco-7,7'-epoxylignan-7,8-dione (20)、machilolin-A (21)、marphenol B (22)、3',4'-dimethoxy-benzoic acid-(3'',4''-dimethoxyphenyl)-3-oxobutyl ester (23)。化合物 1 为四氢呋喃型木脂素, 化合物 2~4 为二芳基丁烷类木脂素, 化合物 5 为二芳基丁内酯类木脂素, 化合物 6~17 为联苯环辛烯类木脂素; 化合物 18~23 为 7,8-seco-木脂素。化合物 6、7、18~20、22 为首次从该植物中分离得到, 化合物 1~5、16、17 为首次从五味子属植物中分离得到。上述结果表明, 华中五味子根部醋酸乙酯萃取物为木脂素类成分的富集部位。此外, 化合物 2~4、13 显示了一定的抗氧化能力, 其半数抑制浓度 (median inhibition concentration, IC₅₀) 分别为 23.0、16.5、10.8、16.0 μmol/L, 其中化合物 4 的抗氧化活性较好, 接近阳性对照维生素 C (IC₅₀=7.4 μmol/L)。

1 仪器与材料

Varian Mercury plus-400B 核磁测定仪器 (美国 Varian 公司); 反相硅胶和反相硅胶板均购买自德国 Merck 公司; 葡聚糖凝胶购买自 Amersham Biosciences; HP-20 大孔树脂 (日本三菱公司); 半制备 HPLC 色谱仪购买于 Waters 公司, X Bridge prep C₁₈ 色谱柱 (150 mm×10 mm, 5 μm); 分析纯溶剂均购自天津化学试剂有限公司。

华中五味子根部是于 2011 年 7 月收集于陕西省太白山秦岭段, 并由兰州大学生命科学学院张国梁教授鉴定为华中五味子 *S. sphenanthera* Rehd. et Wils.。植物标本 (No.11-07) 存放于兰州大学国家重点实验室天然有机研究室。

2 提取与分离

干燥的华中五味子根部 7 kg 粉碎后, 在室温下用 70%丙酮水泡 3 次, 每次 7 d。在旋转蒸发仪中真空蒸馏除去溶剂, 得到粗提取物 685 g, 将粗浸膏

水溶后,依次用石油醚、醋酸乙酯和正丁醇萃取。将醋酸乙酯部分的浸膏用大孔树脂进行分离,以水-乙醇(70:30、50:50、20:80)溶液进行梯度洗脱,得到3个组分(Fr. A~C)。

Fr. C (248 g) 经正相柱色谱,以石油醚-丙酮(100:0、50:1、20:1、10:1、5:1、2:1、1:1、0:100)为洗脱剂,得到8个部分 Fr. C1~C8。Fr. C3 (14.2 g) 经过正相硅胶柱、Sephadex LH-20 (氯仿-甲醇 2:1)、反相硅胶以及半制备 HPLC (甲醇-水 25:75) 进行分离,得到化合物 **4** (2.2 mg) 和 **5** (2.9 mg); Fr. C4 (4.3 g) 通过硅胶柱、Sephadex LH-20 以及半制备 HPLC (甲醇-水 30:70) 进行分离得到化合物 **2** (2.3 mg)、**9** (2.5 mg) 和 **14** (2.4 mg); Fr. C5 (8.2 g) 经正相硅胶柱、反相硅胶以及半制备 HPLC 进行分离纯化,得到化合物 **1** (3.6 mg)、**3** (22 mg)、**6** (3 mg)、**7** (2.3 mg)、**8** (1.8 mg)、**10** (2.8 mg) 和 **11** (2.9 mg); Fr. C6 (3.2 g) 使用正相硅胶柱、反相硅胶以及半制备 HPLC 进行分离纯化,得到化合物 **12** (6 mg)、**13** (2.5 mg)、**15** (2.4 mg)、**16** (3.1 mg) 和 **17** (2.9 mg)。对 Fr. C7 (3.2 g) 使用 Sephadex LH-20、反相硅胶以及半制备 HPLC 进行分离纯化,得到化合物 **18** (4.8 mg)、**19** (2.9 mg)、**20** (1.3 mg)、**21** (2.4 mg)、**22** (2.1 mg) 和 **23** (3.9 mg)。

3 结构鉴定

化合物 **1**: 黄色油状物; $[\alpha]_D^{26} -20$ (c 0.3, CHCl₃); ¹H-NMR (400 MHz, CDCl₃) δ : 6.92 (1H, s, H-2), 6.79 (1H, d, $J = 7.2$ Hz, H-5), 6.84 (1H, brs, H-6), 5.42 (1H, d, $J = 4.2$ Hz, H-7), 2.39~2.45 (1H, m, H-8), 1.01 (3H, d, $J = 6.6$ Hz, H-9), 6.93 (1H, brs, H-2'), 6.82 (1H, d, $J = 8.8$ Hz, H-5'), 6.86 (1H, dd, $J = 1.9, 8.0$ Hz, H-6'), 4.63 (1H, d, $J = 9.3$ Hz, H-7'), 2.38~2.45 (1H, m, H-8'), 0.64 (3H, d, $J = 6.6$ Hz, H-9'), 5.95 (4H, 2×OCH₂O); ¹³C-NMR (100 MHz, CDCl₃) δ : 134.8 (C-1), 106.7 (C-2), 147.7 (C-3), 146.5 (C-4), 108.1 (C-5), 119.3 (C-6), 84.9 (C-7), 43.7 (C-8), 9.7 (C-9), 137.3 (C-1'), 107.0 (C-2'), 148.1 (C-3'), 147.2 (C-4'), 108.2 (C-5'), 119.8 (C-6'), 85.9 (C-7'), 47.8 (C-8'), 12.0 (C-9'), 101.1, 101.2 (2×OCH₂O)。以上波谱数据与文献报道一致^[9], 故鉴定化合物 **1** 为 (-)-zuonin A。

化合物 **2**: 白色粉末固体; ¹H-NMR (400 MHz, CDCl₃) δ : 6.71 (1H, d, $J = 1.9$ Hz, H-2), 6.74 (1H, d,

$J = 7.2$ Hz, H-5), 6.62 (1H, dd, $J = 2.0, 7.2$ Hz, H-6), 2.25 (1H, dd, $J = 10.0, 13.0$ Hz, H-7a), 2.70 (1H, dd, $J = 3.68, 13.0$ Hz, H-7b), 1.72 (1H, dd, $J = 4.2, 6.3$ Hz, H-8), 0.85 (3H, d, $J = 6.3$ Hz, H-9), 6.59 (1H, brs, H-2'), 6.74 (1H, d, $J = 8.0$ Hz, H-5'), 6.65 (1H, dd, $J = 1.9, 8.0$ Hz, H-6'), 2.32 (1H, dd, $J = 10.2, 13.2$ Hz, H-7'a), 2.74 (1H, dd, $J = 3.8, 13.0$ Hz, H-7'b), 1.72 (1H, dd, $J = 4.2, 6.3$ Hz, H-8'), 0.85 (3H, d, $J = 6.3$ Hz, H-9'), 5.92 (2H, s, OCH₂O), 3.87 (3H, s, OCH₃); ¹³C-NMR (100 MHz, CDCl₃) δ : 136.0 (C-1), 108.2 (C-2), 146.5 (C-3), 143.8 (C-4), 114.3 (C-5), 122.1 (C-6), 39.1 (C-7), 39.6 (C-8), 16.4 (C-9), 134.0 (C-1'), 109.6 (C-2'), 147.7 (C-3'), 145.7 (C-4'), 111.7 (C-5'), 121.9 (C-6'), 39.6 (C-7'), 39.3 (C-8'), 16.5 (C-9'), 101.0 (OCH₂O), 56.1 (OMe)。以上波谱数据与文献报道一致^[10], 同时, 通过对比 8、8'、9、9' 的化学位移和偶合常数, 确定该化合物为 *erythro*^[10], 故鉴定化合物 **2** 为 *erythro*-1-(4-hydroxy-3-methoxyphenyl)-4-(3,4-methylenedioxyphenyl)-2,3-dimethylbutane。

化合物 **3**: 白色粉末固体; ¹H-NMR (400 MHz, CDCl₃) δ : 6.72 (1H, d, $J = 1.9$ Hz, H-2), 6.76 (1H, d, $J = 7.2$ Hz, H-5), 6.60 (1H, dd, $J = 2.0, 7.2$ Hz, H-6), 2.23 (1H, dd, $J = 10.0, 13.0$ Hz, H-7a), 2.71 (1H, dd, $J = 3.7, 13.0$ Hz, H-7b), 1.72 (1H, m, H-8), 6.57 (1H, brs, H-2'), 6.74 (1H, d, $J = 8.0$ Hz, H-5'), 6.66 (1H, dd, $J = 1.9, 8.0$ Hz, H-6'), 2.31 (1H, dd, $J = 10.0, 13.2$ Hz, H-7'a), 2.73 (1H, dd, $J = 4.0, 13.2$ Hz, H-7'b), 1.73 (1H, m, H-8'), 0.84 (3H, d, $J = 6.4$ Hz, H-9'), 5.92 (4H, s, 2×OCH₂O); ¹³C-NMR (100 MHz, CDCl₃) δ : 135.9 (C-1), 108.3 (C-2), 146.4 (C-3), 143.9 (C-4), 114.4 (C-5), 121.9 (C-6), 39.2 (C-7), 39.6 (C-8), 16.2 (C-9), 134.1 (C-1'), 109.5 (C-2'), 147.8 (C-3'), 145.7 (C-4'), 111.5 (C-5'), 121.6 (C-6'), 39.5 (C-7'), 39.4 (C-8'), 16.3 (C-9'), 101.0, 101.1 (2×OCH₂O)。以上波谱数据与文献报道一致^[11], 故鉴定化合物 **3** 为奥斯楚拜脂素-5。

化合物 **4**: 白色粉末固体; ¹H-NMR (400 MHz, CDCl₃) δ : 6.59 (2H, brs, H-2, 2'), 6.72 (2H, d, $J = 8.0$ Hz, H-5, 5'), 6.63 (2H, dd, $J = 1.9, 8.0$ Hz, H-6, 6'), 2.64 (2H, dd, $J = 6.0, 13.6$ Hz, H-7a, 7'a), 2.78 (2H, dd, $J = 8.8, 13.2$ Hz, H-7b, 7'b), 1.73 (2H, m, H-8, 8'), 3.53 (2H, dd, $J = 4.4, 11.6$ Hz, H-9a, 9'a), 3.80 (2H, d, $J = 10.4$ Hz, H-9b, 9'b), 5.92 (4H, 2×OCH₂O);

^{13}C -NMR (100 MHz, CDCl_3) δ : 134.6 (C-1, 1'), 108.4 (C-2, 2'), 147.9 (C-3, 3'), 146.0 (C-4, 4'), 109.6 (C-5, 5'), 122.1 (C-6, 6'), 36.2 (C-7, 7'), 44.6 (C-8, 8'), 60.7 (C-9, 9'), 101.1 ($2 \times \text{OCH}_2\text{O}$)。以上波谱数据与文献报道一致^[12], 故鉴定化合物 **4** 为 9,9'-二羟基-溴白木脂素-5。

化合物 **5**: 白色粉末固体; $[\alpha]_{\text{D}}^{26} -20$ (c 0.3, CHCl_3); ^1H -NMR (400 MHz, CDCl_3) δ : 6.70 (1H, d, $J = 1.2$ Hz, H-2), 6.62 (1H, d, $J = 4.0$ Hz, H-2'), 6.85 (2H, d, $J = 7.6$ Hz, H-5, 5'), 6.64 (2H, d, $J = 8.4$ Hz, H-6, 6'), 2.96 (1H, d, $J = 13.6$ Hz, H-7a), 3.10 (1H, d, $J = 13.6$ Hz, H-7b), 2.53 (1H, m, H-8'), 4.04 (3H, m, H-7', H₂-9'), 3.85 (3H, s, OMe), 3.86 (3H, s, OMe), 5.56, 5.51 (2H, s, Ph-OH); ^{13}C -NMR (100 MHz, CDCl_3) δ : 126.2 (C-1), 112.9 (C-2), 146.9 (C-3), 145.4 (C-4), 114.6 (C-5), 123.5 (C-6), 42.5 (C-7), 76.7 (C-8), 178.5 (C-9), 130.5 (C-1'), 111.7 (C-2'), 146.9 (C-3'), 144.6 (C-4'), 114.8 (C-5'), 121.8 (C-6'), 31.9 (C-7'), 44.2 (C-8'), 70.3 (C-9'), 56.1, 56.2 ($2 \times \text{OMe}$)。以上波谱数据与文献报道一致^[13], 故鉴定化合物 **5** 为 (-)-8-羟基- α -铁杉脂素。

化合物 **6**: 为黄色粉末固体; $[\alpha]_{\text{D}}^{26} -40$ (c 0.3, CHCl_3); ^1H -NMR (400 MHz, CDCl_3) δ : 6.44 (1H, s, H-4), 2.46 (1H, dd, $J = 2.0, 13.0$ Hz, H-6 α), 2.56 (1H, dd, $J = 6.8, 13.0$ Hz, H-6 β), 1.88 (1H, m, H-7), 1.80 (1H, m, H-8), 2.13 (1H, dd, $J = 9.0, 13.6$ Hz, H-9 α), 2.05 (1H, brd, $J = 13.6$ Hz, H-9 β), 6.40 (1H, s, H-11), 0.97 (3H, d, $J = 6.8$ Hz, H-17), 0.72 (3H, d, $J = 6.8$ Hz, H-18), 3.62 (3H, s, OCH₃), 3.87 (3H, s, OCH₃), 3.89 (3H, s, OCH₃), 5.93 (2H, s, OCH₂O); ^{13}C -NMR (100 MHz, CDCl_3) δ : 146.1 (C-1), 133.3 (C-2), 151.1 (C-3), 108.6 (C-4), 135.9 (C-5), 38.9 (C-6), 33.7 (C-7), 41.2 (C-8), 35.5 (C-9), 137.9 (C-10), 101.9 (C-11), 148.7 (C-12), 132.4 (C-13), 137.0 (C-14), 116.9 (C-15), 114.1 (C-16), 21.8 (C-17), 12.6 (C-18), 56.1, 60.9, 61.1 ($3 \times \text{OMe}$), 101.1 (OCH₂O)。以上波谱数据与文献报道一致^[14], 故鉴定化合物 **6** 为 (-)-戈米辛 M1。

化合物 **7**: 黄色粉末固体; ^1H -NMR (400 MHz, CDCl_3) δ : 6.54 (1H, s, H-4), 2.45 (1H, dd, $J = 1.6, 13.6$ Hz, H-6 α), 2.58 (1H, dd, $J = 7.6, 14.0$ Hz, H-6 β), 1.89 (1H, m, H-7), 1.79 (1H, m, H-8), 2.33 (1H, dd, $J = 9.6, 13.2$ Hz, H-9 α), 2.05 (1H, brd, $J = 13.2$ Hz,

H-9 β), 6.48 (1H, s, H-11), 1.00 (3H, d, $J = 7.2$ Hz, H-17), 0.74 (3H, d, $J = 7.2$ Hz, H-18), 3.54 (3H, s, OCH₃), 3.82 (3H, s, OCH₃), 3.88 (3H, s, OCH₃), 3.89 (3H, s, OCH₃), 5.96 (2H, d, $J = 1.6$ Hz, OCH₂O);

^{13}C -NMR (100 MHz, CDCl_3) δ : 148.9 (C-1), 134.4 (C-2), 151.8 (C-3), 110.9 (C-4), 124.1 (C-5), 39.4 (C-6), 33.8 (C-7), 41.0 (C-8), 35.8 (C-9), 121.6 (C-10), 103.2 (C-11), 147.9 (C-12), 132.4 (C-13), 141.4 (C-14), 134.4 (C-15), 135.1 (C-16), 21.8 (C-17), 13.1 (C-18), 56.2, 59.9, 60.8, 61.3 ($4 \times \text{OMe}$), 101.0 (OCH₂O)。以上波谱数据与文献报道一致^[15], 故鉴定化合物 **7** 为五味子乙素。

化合物 **8**: 黄色粉末固体; ^1H -NMR (400 MHz, CDCl_3) δ : 1.82 (2H, m, H-7, 8), 2.53 (2H, m, H-6 α , 9 α), 2.05 (2H, m, H-6 β , 9 β), 6.49 (2H, s, H-4, 11), 1.01 (3H, d, $J = 7.2$ Hz, H-17), 0.74 (3H, d, $J = 6.8$ Hz, H-18); ^{13}C -NMR (100 MHz, CDCl_3) δ : 142.1 (C-1, 14), 133.8 (C-2, 13), 147.8 (C-3, 12), 105.9 (C-4, 11), 121.2 (C-5, 10), 38.4 (C-6, 9), 40.1 (C-7, 8), 131.7 (C-15, 16), 21.2 (C-17), 12.5 (C-18), 59.9 ($2 \times \text{OCH}_3$), 100.9 ($2 \times \text{OCH}_2\text{O}$)。以上波谱数据与文献报道一致^[15], 故鉴定化合物 **8** 为五味子丙素。

化合物 **9**: 浅黄色粉末固体; ^1H -NMR (400 MHz, CDCl_3) δ : 6.76 (1H, s, H-4), 6.40 (1H, s, H-11), 0.72 (3H, d, $J = 6.8$ Hz, H-17), 0.97 (3H, d, $J = 6.8$ Hz, H-18), 3.54 (3H, s, OCH₃), 3.56 (3H, s, OCH₃), 3.80 (3H, s, OCH₃), 3.83 (3H, s, OCH₃); ^{13}C -NMR (100 MHz, CDCl_3) δ : 150.7 (C-1), 141.2 (C-2), 150.1 (C-3), 111.9 (C-4), 136.4 (C-5), 40.1 (C-6), 35.1 (C-7), 42.9 (C-8), 35.9 (C-9), 135.2 (C-10), 108.0 (C-11), 152.1 (C-12), 139.5 (C-13), 152.4 (C-14), 118.9 (C-15), 122.0 (C-16), 22.3 (C-17), 12.9 (C-18), 56.1, 60.3, 61.2, 61.4 ($4 \times \text{OMe}$)。以上波谱数据与文献报道一致^[16], 故鉴定化合物 **9** 为戈米辛 J。

化合物 **10**: 无色针状晶体 (氯仿-甲醇 3:1)。 $[\alpha]_{\text{D}}^{26} +40$ (c 0.3, CHCl_3)。 ^1H -NMR (400 MHz, CDCl_3) δ : 6.57 (1H, s, H-4), 6.37 (1H, s, H-11), 0.76 (3H, d, $J = 7.0$ Hz, H-17), 1.01 (3H, d, $J = 7.0$ Hz, H-18), 3.64 (3H, s, OCH₃), 3.87 (3H, s, OCH₃), 3.88 (3H, s, OCH₃), 3.89 (3H, s, OCH₃), 3.91 (3H, s, OCH₃), 5.73 (1H, s, Ph-OH); ^{13}C -NMR (100 MHz, CDCl_3) δ : 151.7 (C-1), 140.2 (C-2), 151.6 (C-3), 110.9 (C-4), 134.4 (C-5), 39.1 (C-6), 33.9 (C-7), 40.9 (C-8), 35.3 (C-9),

140.2 (C-10), 110.0 (C-11), 150.1 (C-12), 137.5 (C-13), 148.8 (C-14), 120.9 (C-15), 123.2 (C-16), 21.7 (C-17), 12.9 (C-18), 60.6, 60.1, 61.2, 56.1, 61.0 ($5 \times \text{OMe}$)。以上波谱数据与文献报道一致^[17], 故鉴定化合物 **10** 为 (+)-戈米辛 k_3 。

化合物 **11**: 浅黄色粉末固体; $^1\text{H-NMR}$ (400 MHz, CDCl_3) δ : 6.54 (1H, s, H-4), 6.53 (1H, s, H-11), 0.75 (3H, d, $J = 6.8$ Hz, H-17), 1.01 (3H, d, $J = 6.8$ Hz, H-18), 3.58 (3H, s, OCH_3), 3.59 (3H, s, OCH_3), 3.87 (3H, s, OCH_3), 3.88 (3H, s, OCH_3), 3.89 (3H, s, OCH_3), 3.90 (3H, s, OCH_3); $^{13}\text{C-NMR}$ (100 MHz, CDCl_3) δ : 153.1 (C-1), 140.4 (C-2), 147.7 (C-3), 107.4 (C-4), 134.2 (C-5), 39.4 (C-6), 35.9 (C-7), 41.0 (C-8), 34.0 (C-9), 134.0 (C-10), 108.2 (C-11), 151.9 (C-12), 139.4 (C-13), 146.6 (C-14), 123.6 (C-15), 122.1 (C-16), 22.1 (C-17), 12.9 (C-18), 56.0, 56.1, 56.2, 60.8, 60.8, 61.2 ($6 \times \text{OMe}$)。以上波谱数据与文献报道一致^[15], 故鉴定化合物 **11** 为五味子甲素。

化合物 **12**: 浅黄色粉末固体; $^1\text{H-NMR}$ (400 MHz, CDCl_3) δ : 6.55 (1H, s, H-4), 6.48 (1H, s, H-11), 0.74 (3H, d, $J = 7.2$ Hz, H-17), 0.98 (3H, d, $J = 7.2$ Hz, H-18), 3.54 (3H, s, OCH_3), 3.81 (3H, s, OCH_3), 3.88 (3H, s, OCH_3), 3.89 (3H, s, OCH_3), 5.94 (2H, d, $J = 0.8$ Hz, OCH_2O); $^{13}\text{C-NMR}$ (100 MHz, CDCl_3) δ : 151.3 (C-1), 139.6 (C-2), 152.7 (C-3), 107.4 (C-4), 139.2 (C-5), 35.4 (C-6), 40.9 (C-7), 34.0 (C-8), 38.7 (C-9), 132.3 (C-10), 105.7 (C-11), 147.9 (C-12), 134.8 (C-13), 141.2 (C-14), 122.3 (C-15), 122.5 (C-16), 12.3 (C-17), 21.9 (C-18), 55.8, 59.6, 60.5, 60.8 ($4 \times \text{OMe}$), 100.8 (OCH_2O)。以上波谱数据与文献报道一致^[17], 故鉴定化合物 **12** 为五味子醇甲。

化合物 **13**: 白色粉末固体; $^1\text{H-NMR}$ (400 MHz, CDCl_3) δ : 6.44 (1H, s, H-4), 2.58 (1H, dd, $J = 7.4$, 13.2 Hz, H-6 α), 2.48 (1H, d, $J = 13.2$ Hz, H-6 β), 1.89 (1H, m, H-7), 1.79 (1H, m, H-8), 2.03 (1H, d, $J = 13.6$ Hz, H-9 α), 2.30 (1H, dd, $J = 10.0$, 13.6 Hz, H-9 β), 6.41 (1H, s, H-11), 0.76 (3H, d, $J = 6.8$ Hz, H-17), 1.00 (3H, d, $J = 6.8$ Hz, H-18), 3.88 (3H, s, OCH_3), 3.92 (3H, s, OCH_3), 3.93 (3H, s, OCH_3), 3.95 (3H, s, OCH_3); $^{13}\text{C-NMR}$ (100 MHz, CDCl_3) δ : 151.2 (C-1), 150.0 (C-2), 145.9 (C-3), 108.8 (C-4), 135.5 (C-5), 41.1 (C-6), 39.2 (C-7), 35.8 (C-8), 33.6 (C-9), 133.1 (C-10), 104.4 (C-11), 139.8 (C-12), 138.7 (C-13),

146.3 (C-14), 114.6 (C-15), 115.1 (C-16), 12.3 (C-17), 21.7 (C-18), 55.6 ($2 \times \text{OCH}_3$), 61.1 ($2 \times \text{OCH}_3$)。以上波谱数据与文献报道一致^[18], 故鉴定化合物 **13** 为 rubrisandrin B。

化合物 **14**: 浅黄色粉末固体; $^1\text{H-NMR}$ (400 MHz, CDCl_3) δ : 6.54 (1H, s, H-4), 6.44 (1H, s, H-11), 0.75 (3H, d, $J = 7.2$ Hz, H-17), 1.01 (3H, d, $J = 7.2$ Hz, H-18), 3.55 (3H, s, OCH_3), 3.88 (3H, s, OCH_3), 3.89 (3H, s, OCH_3), 5.73 (1H, s, Ph-OH), 5.69 (1H, s, Ph-OH), 5.59 (1H, s, Ph-OH); $^{13}\text{C-NMR}$ (100 MHz, CDCl_3) δ : 151.7 (C-1), 140.6 (C-2), 150.3 (C-3), 112.4 (C-4), 135.2 (C-5), 39.4 (C-6), 34.2 (C-7), 41.6 (C-8), 35.7 (C-9), 134.7 (C-10), 106.7 (C-11), 148.8 (C-12), 139.8 (C-13), 146.5 (C-14), 119.3 (C-15), 121.5 (C-16), 12.9 (C-17), 21.9 (C-18), 60.1, 60.5, 60.6 ($3 \times \text{OMe}$)。以上波谱数据与文献报道一致^[19], 故鉴定化合物 **14** 为 marlignans A。

化合物 **15**: 浅黄色粉末固体; $^1\text{H-NMR}$ (400 MHz, CDCl_3) δ : 6.56 (1H, s, H-4), 6.34 (1H, s, H-11), 0.74 (3H, d, $J = 6.8$ Hz, H-17), 0.99 (3H, d, $J = 6.8$ Hz, H-18), 3.79 (3H, s, OCH_3), 3.86 (3H, s, OCH_3), 3.88 (3H, s, OCH_3), 3.89 (3H, s, OCH_3), 5.56 (1H, s, Ph-OH), 5.66 (1H, s, Ph-OH); $^{13}\text{C-NMR}$ (100 MHz, CDCl_3) δ : 150.4 (C-1), 137.8 (C-2), 147.7 (C-3), 113.6 (C-4), 135.4 (C-5), 38.9 (C-6), 33.9 (C-7), 41.0 (C-8), 35.7 (C-9), 139.7 (C-10), 104.0 (C-11), 151.8 (C-12), 133.6 (C-13), 146.5 (C-14), 115.9 (C-15), 121.5 (C-16), 12.6 (C-17), 21.9 (C-18), 55.6, 60.5, 60.8, 61.1 ($4 \times \text{OMe}$)。以上波谱数据与文献报道一致^[18], 故鉴定化合物 **15** 为 rubrisandrin A。

化合物 **16**: 浅黄色粉末固体; $^1\text{H-NMR}$ (400 MHz, CDCl_3) δ : 6.52 (1H, s, H-4), 4.45 (1H, brs, H-9 α), 6.47 (1H, s, H-11), 0.85 (3H, d, $J = 6.8$ Hz, H-17), 0.98 (3H, d, $J = 6.8$ Hz, H-18), 3.63 (3H, s, OCH_3), 3.85 (3H, s, OCH_3), 3.89 (3H, s, OCH_3), 3.91 (3H, s, OCH_3); $^{13}\text{C-NMR}$ (100 MHz, CDCl_3) δ : 147.3 (C-1), 133.4 (C-2), 151.0 (C-3), 107.3 (C-4), 133.8 (C-5), 38.9 (C-6), 35.0 (C-7), 43.4 (C-8), 83.7 (C-9), 138.9 (C-10), 102.8 (C-11), 148.3 (C-12), 135.7 (C-13), 141.0 (C-14), 117.9 (C-15), 115.2 (C-16), 19.5 (C-17), 15.4 (C-18), 55.9, 59.9, 60.8, 60.9 ($4 \times \text{OMe}$)。以上波谱数据与文献报道一致^[20], 故鉴定化合物 **16** 为滨南五味子乙素。

化合物 **17**: 无色针状晶体 (氯仿-甲醇 3 : 1); $^1\text{H-NMR}$ (400 MHz, CDCl_3) δ : 6.91 (1H, s, H-4), 1.91~2.11 (2H, m, H-7, 8), 2.65 (1H, d, $J = 4.4$ Hz, H-8), 4.52 (1H, s, H-9 β), 6.51 (1H, s, H-11), 1.04 (3H, d, $J = 7.2$ Hz, H-17), 0.72 (3H, d, $J = 7.2$ Hz, H-18), 3.62 (3H, s, OCH_3), 3.84 (3H, s, OCH_3), 3.87 (3H, s, OCH_3), 3.89 (3H, s, OCH_3), 5.99 (2H, d, $J = 2.4$ Hz, OCH_2O); $^{13}\text{C-NMR}$ (100 MHz, CDCl_3) δ : 147.1 (C-1), 133.5 (C-2), 151.1 (C-3), 107.2 (C-4), 134.0 (C-5), 39.0 (C-6), 34.7 (C-7), 43.0 (C-8), 81.9 (C-9), 139.0 (C-10), 102.5 (C-11), 148.6 (C-12), 135.5 (C-13), 141.1 (C-14), 118.1 (C-15), 114.9 (C-16), 19.5 (C-17), 15.1 (C-18), 55.8, 59.8, 60.8, 61.1 ($4 \times \text{OMe}$)。以上波谱数据与文献报道一致^[21], 故鉴定化合物 **17** 为异戈米辛 O。

化合物 **18**: 浅黄色油状物; $^1\text{H-NMR}$ (400 MHz, CDCl_3) δ : 7.48 (1H, d, $J = 2.0$ Hz, H-2), 7.59 (1H, dd, $J = 1.6, 8.4$ Hz, H-6), 6.91 (1H, d, $J = 7.6$ Hz, H-8), 2.24 (3H, s, H-9), 6.92 (1H, d, $J = 2.8$ Hz, H-2'), 6.79 (1H, d, $J = 7.6$ Hz, H-5'), 6.92 (1H, dd, $J = 2.6, 7.6$ Hz, H-6'), 5.92 (1H, d, $J = 10.0$ Hz, H-7'), 3.20 (1H, dq, $J = 10.0, 7.2$ Hz, H-8'), 0.98 (1H, d, $J = 7.2$ Hz, H-9'), 3.91 (3H, s, OCH_3), 5.95 (2H, s, OCH_2O); $^{13}\text{C-NMR}$ (100 MHz, CDCl_3) δ : 122.3 (C-1), 112.1 (C-2), 148.2 (C-3), 150.5 (C-4), 108.5 (C-5), 124.3 (C-6), 165.3 (C-7), 209.7 (C-8), 29.0 (C-9), 132.4 (C-1'), 107.6 (C-2'), 147.9 (C-3'), 146.5 (C-4'), 108.5 (C-5'), 121.6 (C-6'), 78.2 (C-7'), 52.6 (C-8'), 13.4 (C-9'), 56.4 (OCH_3), 101.5 (OCH_2O)。以上波谱数据与文献报道一致^[22], 故鉴定化合物 **18** 为 marphenol A。

化合物 **19**: 浅黄色油状物; $^1\text{H-NMR}$ (400 MHz, CDCl_3) δ : 7.46 (1H, d, $J = 1.8$ Hz, H-2), 7.62 (1H, dd, $J = 1.8, 8.2$ Hz, H-6), 6.86 (1H, d, $J = 8.4$ Hz, H-8), 2.21 (3H, s, H-9), 6.90 (1H, d, $J = 1.6$ Hz, H-2'), 6.80 (1H, d, $J = 8.4$ Hz, H-5'), 6.92 (1H, dd, $J = 2.0, 8.2$ Hz, H-6'), 5.89 (1H, d, $J = 12.2$ Hz, H-7'), 3.21 (1H, dq, $J = 10.6, 7.2$ Hz, H-8'), 0.99 (1H, d, $J = 7.2$ Hz, H-9'), 3.84 (3H, s, OCH_3), 3.86 (3H, s, OCH_3), 5.93 (2H, s, OCH_2O); $^{13}\text{C-NMR}$ (100 MHz, CDCl_3) δ : 122.3 (C-1), 112.2 (C-2), 148.2 (C-3), 152.1 (C-4), 109.9 (C-5), 123.2 (C-6), 164.8 (C-7), 209.4 (C-8), 28.7 (C-9), 131.8 (C-1'), 106.9 (C-2'), 147.7 (C-3'), 147.5 (C-4'), 108.0 (C-5'), 121.1 (C-6'), 77.8 (C-7'),

52.2 (C-8'), 13.8 (C-9'), 56.1, 55.9 ($2 \times \text{OCH}_3$), 101.0 (OCH_2O)。以上波谱数据与文献报道一致^[22], 故鉴定化合物 **19** 为 (7'R,8'S)-3,4-dimethoxy-3',4'-methylenedioxy-7,8-seco-7,7'-epoxylignan-7,8-dione。

化合物 **20**: 浅黄色油状物; $^1\text{H-NMR}$ (400 MHz, CDCl_3) δ : 7.40 (1H, d, $J = 1.8$ Hz, H-2), 7.60 (1H, dd, $J = 1.8, 8.4$ Hz, H-6), 6.85 (1H, d, $J = 8.4$ Hz, H-8), 2.24 (3H, s, H-9), 6.91 (1H, d, $J = 2.0$ Hz, H-2'), 7.00 (1H, d, $J = 8.4$ Hz, H-5'), 6.85 (1H, dd, $J = 2.0, 8.4$ Hz, H-6'), 5.96 (1H, d, $J = 11.6$ Hz, H-7'), 3.23 (1H, dq, $J = 10.4, 6.8$ Hz, H-8'), 0.97 (1H, d, $J = 7.2$ Hz, H-9'), 3.86 (3H, s, OCH_3), 3.88 (3H, s, OCH_3), 6.02 (2H, s, OCH_2O); $^{13}\text{C-NMR}$ (100 MHz, CDCl_3) δ : 124.3 (C-1), 109.5 (C-2), 148.0 (C-3), 152.1 (C-4), 108.3 (C-5), 125.5 (C-6), 164.8 (C-7), 209.9 (C-8), 28.7 (C-9), 130.8 (C-1'), 110.9 (C-2'), 149.3 (C-3'), 149.5 (C-4'), 111.0 (C-5'), 120.1 (C-6'), 78.2 (C-7'), 52.2 (C-8'), 13.8 (C-9'), 56.1, 56.0 ($2 \times \text{OCH}_3$), 101.7 (OCH_2O)。以上波谱数据与文献报道一致^[23], 故鉴定化合物 **20** 为 (7'R,8'S)-3,4-methylenedioxy-3',4'-dimethoxy-7,8-seco-7,7'-epoxylignan-7,8-dione。

化合物 **21**: 浅黄色油状物; $^1\text{H-NMR}$ (400 MHz, CDCl_3) δ : 6.89 (1H, d, $J = 6.8$ Hz, H-2), 6.75 (1H, d, $J = 6.8$ Hz, H-5), 6.92 (1H, dd, $J = 1.8, 6.8$ Hz, H-6), 5.94 (1H, d, $J = 10.0$ Hz, H-7), 3.22 (1H, m, H-8), 2.24 (3H, s, H-9), 7.38 (1H, d, $J = 7.2$ Hz, H-2'), 6.79 (1H, d, $J = 7.2$ Hz, H-5'), 7.59 (1H, dd, $J = 2.0, 7.2$ Hz, H-6'), 5.97 (2H, d, $J = 1.8$ Hz, OCH_2O), 6.02 (2H, s, OCH_2O); $^{13}\text{C-NMR}$ (100 MHz, CDCl_3) δ : 131.6 (C-1), 106.9 (C-2), 147.4 (C-3), 147.3 (C-4), 107.9 (C-5), 121.7 (C-6), 77.6 (C-7), 208.9 (C-8), 28.5 (C-9), 132.0 (C-1'), 109.9 (C-2'), 152.7 (C-3'), 147.7 (C-4'), 107.3 (C-5'), 125.3 (C-6'), 164.2 (C-7'), 101.1, 101.2 ($2 \times \text{OCH}_2\text{O}$)。以上波谱数据与文献报道一致^[24], 故鉴定化合物 **21** 为 machilolin A。

化合物 **22**: 浅黄色油状物; $^1\text{H-NMR}$ (400 MHz, CDCl_3) δ : 7.41 (1H, d, $J = 1.6$ Hz, H-2), 6.83 (1H, d, $J = 8.0$ Hz, H-5), 7.62 (1H, dd, $J = 1.6, 6.8$ Hz, H-6), 5.80 (1H, d, $J = 10.0$ Hz, H-7), 3.20 (1H, m, H-8), 2.24 (3H, s, H-9), 6.62 (2H, s, H-2', 6'), 3.82 (3H, s, OCH_3), 3.86 (6H, s, OCH_3), 6.03 (2H, s, OCH_2O); $^{13}\text{C-NMR}$ (100 MHz, CDCl_3) δ : 126.5 (C-1), 109.5 (C-2), 152.0 (C-3), 148.1 (C-4), 108.3 (C-5), 125.7

(C-6), 164.8 (C-7), 209.5 (C-8), 29.4 (C-9), 133.8 (C-1'), 103.6 (C-2'), 152.3 (C-3'), 137.5 (C-4'), 149.5 (C-5'), 109.5 (C-6'), 78.4 (C-7'), 52.2 (C-8'), 13.8 (C-9'), 56.1, 60.2 ($2 \times \text{OCH}_3$), 102.7 (OCH_2O) 以上波谱数据与文献报道一致^[22], 故鉴定化合物 **22** 为 marphenol B。

化合物 **23**: 黄色油状物; $^1\text{H-NMR}$ (400 MHz, CDCl_3) δ : 6.91 (1H, d, $J = 6.8$ Hz, H-2), 6.74 (1H, d, $J = 6.8$ Hz, H-5), 6.93 (1H, dd, $J = 1.8, 6.8$ Hz, H-6), 5.95 (1H, d, $J = 10.0$ Hz, H-7), 3.22 (1H, m, H-8), 2.24 (3H, s, H-9), 7.40 (1H, d, $J = 7.2$ Hz, H-2'), 6.77 (1H, d, $J = 7.2$ Hz, H-5'), 7.61 (1H, dd, $J = 2.0, 7.2$ Hz, H-6'), 3.85 (3H, s, OCH_3), 3.87 (3H, s, OCH_3), 3.89 (3H, s, OCH_3), 3.90 (3H, s, OCH_3); $^{13}\text{C-NMR}$ (100 MHz, CDCl_3) δ : 131.3 (C-1), 107.2 (C-2), 147.2 (C-3), 147.1 (C-4), 107.9 (C-5), 121.9 (C-6), 77.8 (C-7), 209.1 (C-8), 28.5 (CH_3 -9), 132.1 (C-1'), 110.0 (C-2'), 152.5 (C-3'), 147.6 (C-4'), 106.9 (C-5'), 125.5 (C-6'), 164.4 (C-7'), 55.9, 55.9, 56.0, 56.0 ($4 \times \text{OCH}_3$)。以上波谱数据与文献报道一致^[3], 故鉴定化合物 **23** 为 3',4'-dimethoxy-benzoic acid-(3'',4''-dimethoxyphenyl)-3-oxobutylester。

4 抗氧化活性筛选研究

采用 ABTS^+ 自由基清除的活性筛选技术^[23], 以维生素 C 为阳性对照, 筛选并评价单体化合物的抗氧化能力。化合物 **2~4**、**13** 和维生素 C 分别配制成 10.0、5.0、1.0、0.5、0.1、0.01 mmol/L 的溶液, 测定 ABTS^+ 自由基清除活性, 结果显示 IC_{50} 值分别为 23.0、16.5、10.8、16.0 $\mu\text{mol/L}$, 表明化合物 **2~4** 和 **13** 具有一定的抗氧化活性, 其中化合物 **4** 的抗氧化活性较好, 接近阳性对照维生素 C ($\text{IC}_{50} = 7.4 \mu\text{mol/L}$)。

5 讨论

本实验首次从华中五味子根部的 70% 丙酮水提取物中分离鉴定了 23 个木脂素类化合物; 其中, 化合物 **1** 为四氢呋喃型木脂素, 化合物 **2~4** 为二芳基丁烷类木脂素, 化合物 **5** 为二芳基丁内酯类木脂素, 化合物 **6~17** 为联苯环辛烯类木脂素; 化合物 **18~23** 为 7,8-seco-木脂素。化合物 **6**、**7**、**18~20**、**22** 为首次从该植物中分离得到, 化合物 **1~5**、**16**、**17** 为首次从五味子属植物中分离得到。化合物 **2**、**3**、**4** 和 **13** 具有一定的抗氧化活性, 其中化合物 **4** 的抗氧化活性较好, 接近阳性对照。本研究为进一步开发应用华中五味子木脂素类成分提供了可靠的

结构及活性信息。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

- [1] Huyke C, Engel K, Simon-Haarhaus B, et al. Composition and biological activity of different extracts from *Schisandra sphenanthera* and *Schisandra chinensis* [J]. *Planta Med*, 2007, 73(10): 1116-1126.
- [2] Xin H W, Wu X C, Li Q, et al. Effects of *Schisandra sphenanthera* extract on the pharmacokinetics of tacrolimus in healthy volunteers [J]. *Br J Clin Pharmacol*, 2007, 64(4): 469-475.
- [3] Song Q Y, Zhang C J, Li Y, et al. Lignans from the fruit of *Schisandra sphenanthera*, and their inhibition of HSV-2 and adenovirus [J]. *Phytochem Lett*, 2013, 6(2): 174-178.
- [4] He F, Li X Y, Yang G Y, et al. Nortriterpene constituents from *Schisandra sphenanthera* [J]. *Tetrahedron*, 2012, 68(2): 440-446.
- [5] Xiao W L, Huang S X, Wang R R, et al. Nortriterpenoids and lignans from *Schisandra sphenanthera* [J]. *Phytochemistry*, 2008, 69(16): 2862-2866.
- [6] Yu H Y, Hao C, Meng F Y, et al. Neuroprotective lignans from the stems of *Schisandra glaucescens* [J]. *Planta Med*, 2012, 78(18): 1962-1966.
- [7] He F, Pu J X, Huang S X, et al. Schinalactone A, a new cytotoxic triterpenoid from *Schisandra sphenanthera* [J]. *Org Lett*, 2010, 12(6): 1208-1211.
- [8] Liang C Q, Hu J, Shi Y M, et al. Schisphenlignans A-E: Five new dibenzocyclooctadiene lignans from *Schisandra sphenanthera* [J]. *Chem Pharm Bull (Tokyo)*, 2013, 61(1): 96-100.
- [9] Kuo Y H, Chen C H, Lin Y L. New Lignans from the heartwood of *Chamaecyparis obtusa* var. *formosana* [J]. *Chem Pharm Bull* 2002, 50(7): 978-980.
- [10] Nakatani N, Ikeda K, Kikuzaki H, et al. Diaryldimethylbutane lignans from *Myristica argentea* and their antimicrobial action against *Streptococcus mutans* [J]. *Phytochemistry*, 1988, 27(10): 3127-3129.
- [11] Stefanello M E A, Alvarenga M A, Toma I N. New neolignans from *Talauma ovata* [J]. *Fitoterapia*, 2002, 73(2): 135-139.
- [12] Ao W L, Bao X H, Wu X L, et al. Lignans from *Syringa pinnatifolia* Hemsl. var. *alashanensis* [J]. *J Asian Nat Prod Res*, 2012, 14(4): 396-400.
- [13] Kawamura F, Kawai S, Ohashi H. Lignans causing photodiscoloration of *Tsuga heterophylla*: 8-Hydroxy-oxomatairesinol from sapwood [J]. *Phytochemistry*, 2000, 54(4): 439-444.

- [14] 王应仙, 李俊, 秦定梅, 等. Gomisin M1 协同氟康唑对耐药白念珠菌毒力因子的作用研究 [J]. 中草药, 2022, 53(3): 743-750.
- [15] Qin X L, Chen X, Zhong G P, *et al.* Effect of Tacrolimus on the pharmacokinetics of bioactive lignans of Wuzhi Tablet (*Schisandra sphenanthera* extract) and the potential roles of CYP3A and P-gp [J]. *Phytomedicine*, 2014, 21(5): 766-772.
- [16] Liang C Q, Hu J, Luo R H, *et al.* Six new lignans from the leaves and stems of *Schisandra sphenanthera* [J]. *Fitoterapia*, 2013, 86: 171-177.
- [17] Ikeya Y, Taguchi H, Yosioka I. The constituents of *Schizandra chinensis* BAILL. VII. The structures of three new lignans, (-)-gomisin K₁ and (+)-gomisins K₂ and K₃ [J]. *Chem Pharm Bull*, 1980, 28(8): 2422-2427.
- [18] Chen M, Kilgore N, Lee K H, *et al.* Rubrisandrins A and B, lignans and related anti-HIV compounds from *Schisandra rubriflora* [J]. *J Nat Prod*, 2006, 69(12): 1697-1701.
- [19] Yang G Y, Li Y K, Wang R R, *et al.* Dibenzocyclooctadiene lignans from *Schisandra wilsoniana* and their anti-HIV-1 activities [J]. *J Nat Prod*, 2010, 73(5): 915-919.
- [20] Jia Z W, Liao Z X, Chen D F. Two new dibenzocyclooctene lignans from the water extract of *Kadsura* spp [J]. *Helvetica Chimica Acta*, 2005, 88(8): 2288-2293.
- [21] Ikeya Y, Ookawa N, Taguchi H, *et al.* The constituents of *Schizandra chinensis* Baill. XI. The structures of three new lignans, angeloylgomisin O, and angeloyl- and benzoylisogomisin O [J]. *Chem Pharm Bull*, 1982, 30(9): 3202-3206.
- [22] Zhang X J, Yang G Y, Wang R R, *et al.* 7, 8-secolignans from *Schisandra wilsoniana* and their anti-HIV-1 activities [J]. *Chem Biodivers*, 2010, 7(11): 2692-2701.
- [23] Yu H Y, Chen Z Y, Sun B, *et al.* Lignans from the fruit of *Schisandra glaucescens* with antioxidant and neuroprotective properties [J]. *J Nat Prod*, 2014, 77(6): 1311-1320.
- [24] Zhao J Q, Wang Y M, Yang Y L, *et al.* Antioxidants and α -glucosidase inhibitors from “Liucha” (young leaves and shoots of *Sibiraea laevigata*) [J]. *Food Chemistry*, 2017, 230: 117-124.

[责任编辑 王文倩]