• 化学成分 •

黄精中苯丙素类化学成分研究

潘　娟[1]，王丹妮[1]，朱圆圆[1]，匡海学[1]，韩凤娟[2*]，刘　艳[1*]

1. 黑龙江中医药大学，黑龙江 哈尔滨　150040
2. 黑龙江中医药大学附属第一医院，黑龙江 哈尔滨　150040

摘　要：目的　研究黄精 *Polygonatum sibiricum* 干燥根茎的化学成分及其潜在抗阿尔茨海默病（Alzheimer's disease，AD）活性。**方法**　首先经加热回流提取，再以 BJQH 型大孔吸附树脂梯度洗脱；随后联合硅胶、ODS 和 HPLC 等色谱技术进行逐级分离，获得单体化合物；并采用 UV、IR、多种核磁共振谱及质谱鉴定其化学结构。最后，基于 $A\beta_{1\text{-}42}$ 诱导的 HT22 神经元损伤模型，检测各化合物的细胞保护能力，并对活性显著的化合物测定其半数有效浓度（half maximal effective concentration，EC_{50}），初步探讨其抗 AD 的药效潜力。**结果**　从黄精提取物中分离得到 27 个苯丙素类化合物，分别鉴定为 1-(3,5-二甲氧基-4-甲基苯基)丁基-*O*-β-*D*-吡喃葡萄糖基-(1→6)-β-*D*-吡喃葡萄糖苷（**1**）、丁香树脂酚（**2**）、(–)-表丁香树脂醇（**3**）、(+)-桉皮树脂醇（**4**）、右旋松脂素（**5**）、ligballinol（**6**）、(−)-丁香树脂酚-4′-*O*-β-*D*-葡萄糖苷（**7**）、3,3′-双(3,4-二氢-4-羟基-6,8-二甲氧基-2*H*-1-苯并吡喃)（**8**）、二氢脱氢二柏醇（**9**）、(7*S*,8*R*)-urolignoside（**10**）、artamenone（**11**）、反式-阿魏酸对羟基苯乙酯（**12**）、阿魏酸甲酯（**13**）、阿魏酸（**14**）、对香豆酸（**15**）、咖啡酸乙酯（**16**）、阿魏酸乙酯（**17**）、3-(4-羟基-3-甲氧基苯基)丙烷-1,2-二醇（**18**）、4-allyl-2,6-dimethoxyphenol-1-*O*-β-*D*-xylopyranosyl-(1→6)-β-*D*-glucopyranoside（**19**）、紫丁香苷（**20**）、(2a*S*,3a*S*)-lyciumamide D（**21**）、*N*-反式-对香豆酰酪胺（**22**）、*N*-顺式-对香豆酰酪胺（**23**）、feruloylphenethylamine（**24**）、*N*-反式-阿魏酸酪酰胺（**25**）、*N*-顺式-阿魏酸酪酰胺（**26**）、*N*-反式-桂皮酸酰对羟基苯乙胺（**27**）。体外活性研究结果表明，化合物 **2**、**4**、**5**、**9**、**12**～**14**、**18**、**21**、**22**、**25**、**26** 在 20 μmol/L 浓度下对 $A\beta_{1\text{-}42}$ 诱导的 HT22 细胞损伤具有显著保护作用（$P<0.01$）；进一步量效关系研究表明，化合物 **21** 活性最强，EC_{50} 为（2.12±0.28）μmol/L，与阳性药多奈哌齐[（2.53±0.34）μmol/L] 相当。**结论**　化合物 **1** 为新化合物，命名为黄精苷 M；化合物 **4**、**6**、**8**、**11**、**18**、**19**、**24**、**27** 为首次从百合科中分离得到，化合物 **13**、**16**、**17**、**21** 为首次从黄精属植物中分离得到，化合物 **3** 为黄精中首次分离得到。化合物 **21** 具有显著的抗 AD 开发潜力。

关键词：百合科；黄精；苯丙素；神经保护活性；黄精苷 M；(＋)-桉皮树脂醇；阿魏酸甲酯

中图分类号：R284.1　　**文献标志码：**A　　**文章编号：**0253 - 2670(2026)22 - 8817 - 11

DOI: 10.7501/j.issn.0253-2670.2026.22.001

Chemical constituents of phenylpropanoids from *Polygonatum sibiricum*

PAN Juan[1], WANG Danni[1], ZHU Yuanyuan[1], KUANG Haixue[1], HAN Fengjuan[2], LIU Yan[1]

1. Heilongjiang University of Chinese Medicine, Harbin 150040, China
2. First Affiliated Hospital, Heilongjiang University of Chinese Medicine, Harbin 150040, China

Abstract: Objective　To investigate the chemical constituents of the dried rhizome of *Polygonatum sibiricum* and their potential anti-Alzheimer's disease (AD) activity. **Methods**　The dried rhizome material was subjected to continuous heating reflux extraction to yield total extracts, which were further enriched and fractionated via BJQH-type macroporous resin columns. The compounds were then obtained through stepwise separation using chromatographic techniques including silica gel, ODS, and HPLC. Their chemical structures were identified by UV, IR, various NMR spectroscopic methods, and MS. Finally, the neuroprotective effects of each

收稿日期：2026-08-03

基金项目：黑龙江省自然科学基金项目（QC2025H021）；中国博士后科学基金（2023M741096）；黑龙江省博士后资助基金（LBH-Z23034）；黑龙江中医药大学校级基金—青年创新项目（2024XJJ-QNCX016）；黑龙江省省属本科高校基本科研业务费科研项目（2024-KYYWF-1385）；黑龙江省“春雁”团队（CYQN24014）

作者简介：潘　娟，副研究员，从事中药药效物质基础研究。E-mail: 570075670@qq.com

***通信作者：**韩凤娟，教授，从事中医妇科研究。E-mail: hanfengjuan2004@163.com

刘　艳，教授，从事中药药效物质基础研究。E-mail: lifeliuyan@163.com

compound were evaluated using an Aβ$_{1-42}$-induced HT22 neuronal injury model, and the half maximal effective concentration (EC_{50}) of the active compounds were further determined to preliminarily explore their anti-AD pharmacodynamic potential. **Results** A total of 27 phenylpropanoids were isolated and identified from *Polygonatum sibiricum*. They were identified as 1-(3,5-dimethoxy-4-methylphenyl)butyl O-β-*D*-glucopyranosyl-(1→6)-β-*D*-glucopyranoside (**1**), syringaresinol (**2**), (−)-episyringaresinol (**3**), (+)-medioresinol (**4**), (+)-pinoresinol (**5**), ligballinol (**6**), (−)-syringaresinol 4′-*O*-β-*D*-glucopyranoside (**7**), 3,3′-bis(3,4-dihydro-4-hydroxy-6,8-dimethoxy-2H-1-benzopyran) (**8**), dihydrodehydrodiconiferyl alcohol (**9**), (7*S*,8*R*)-urolignoside (**10**), artamenone (**11**), *p*-hydroxyphenethyl *trans*-ferulate (**12**), methyl ferulate (**13**), ferulic acid (**14**), *p*-coumaric acid (**15**), caffeic acid ethyl ester (**16**), ethyl ferulate (**17**), 3-(4-hydroxy-3-methoxyphenyl)propane-1,2-diol (**18**), 4-allyl-2,6-dimethoxyphenol-1-*O*-β-*D*-xylopyranosyl- (1→6)-β-*D*-glucopyranoside (**19**), syringin (**20**), (2a*S*,3a*S*)-lyciumamide D (**21**), *N*-*trans*-*p*-coumaroyltyramine (**22**), *cis*-*N*-*p*-coumaroyltyramine (**23**), feruloylphenethylamine (**24**), *N*-*trans*-feruloyltyramine (**25**), *N*-*cis*-feruloyltyramine (**26**), *N*-*trans*-cinnamoyltyramine (**27**). At 20 μmol/L, compounds **2**, **4**, **5**, **9**, **12—14**, **18**, **21**, **22**, **25**, and **26** exhibited significant protective effects against Aβ$_{1-42}$-induced HT22 cell damage ($P < 0.01$). Furthermore, dose-response analysis revealed that compound **21** showed the strongest neuroprotective activity with an EC_{50} value of (2.12 ± 0.28) μmol/L, comparable to that of the positive control donepezil (2.53 ± 0.34 μmol/L). **Conclusion** Compound **1** was a new compound. Compounds **4, 6**, **8**, **11**, **18**, **19**, **24** and **27** were isolated from the Liliaceae family for the first time, compounds **13**, **16**, **17** and **21** were isolated from *Polygonatum* genus for the first time and compound **3** was isolated from this plant for the first time. Compound **21** demonstrates promising potential for anti-AD drug development.

Key words: Liliaceae; *Polygonatum sibiricum* Red.; phenylpropanoids; neuroprotective activity; sibiricoside M; (＋)-medioresinol; methyl ferulate

黄精为百合科黄精属植物黄精 *Polygonatum sibiricum* Red.的干燥根茎，性平，味甘，归脾、肺、肾经，具有补气养阴、健脾润肺、益肾填精之功效，为临床常用的扶正固本要药[1]。现代药理学研究表明，黄精提取物具有显著的抗氧化、抗衰老、抗炎、神经保护及改善学习记忆等生物活性[2-4]，尤其在防治阿尔茨海默病（Alzheimer's disease，AD）等神经退行性疾病方面展现出巨大潜力。目前从黄精属植物中已分离报道的化学成分主要包括多糖、甾体皂苷、黄酮类等[5-6]。现有研究多集中于黄精多糖及皂苷类成分，而对其小分子极性成分，特别是苯丙素类化合物的系统分离与活性评价尚不充分，限制了对黄精药效物质基础的系统阐释。苯丙素类化合物具有多样生物活性，如抗氧化、抗炎及神经保护作用，可能是黄精发挥补益功效的重要物质基础之一。基于此，本研究综合运用硅胶、ODS 及制备型 HPLC 等现代色谱分离技术，结合 IR、1D-/2D-NMR 及 MS 等波谱学鉴定手段，对黄精 70%乙醇提取物中苯丙素类化学成分进行了系统研究，从黄精 70%乙醇提取物中分离并鉴定了 27 个苯丙素类化合物，分别为 1-(3,5-二甲氧基-4-甲基苯基)丁基-*O*-β-*D*-吡喃葡萄糖基-(1→6)-β-*D*-吡喃葡萄糖苷[1-(3,5-dimethoxy-4-methylphenyl)butyl *O*-β-*D*-glucopyranosyl-(1 → 6)-β-*D*-glucopyranoside，**1**]、丁香树脂酚（syringaresinol，**2**）、(−)-表丁香树脂醇 [(−)-episyringaresinol，**3**]、(＋)-桉皮树脂 [(＋)-medioresinol，**4**]、右旋松脂素 [(＋)-pinoresinol，**5**]、ligballinol（**6**）、(−)-丁香树脂酚-4′-*O*-β-*D*-葡萄糖苷（syringaresinol 4′-*O*-β-*D*-glucopyranoside，**7**）、3,3′-双(3,4-二氢-4-羟基-6,8-二甲氧基-2*H*-1-苯并吡喃)[3,3′-bis(3,4-dihydro-4-hydroxy-6,8-dimethoxy-2*H*-1-benzopyran，**8**)、二氢脱氢二柏醇（dihydro-dehydrodiconiferyl alcohol，**9**）、(7*S*,8*R*)-urolignoside（**10**）、artamenone（**11**）、反式-阿魏酸对羟基苯乙酯（*p*-hydroxyphenethyl *trans*-ferulate，**12**）、阿魏酸甲酯（methyl ferulate，**13**）、阿魏酸（ferulic acid，**14**）、对香豆酸（*p*-coumaric acid，**15**）、咖啡酸乙酯（caffeic acid ethyl ester，**16**）、阿魏酸乙酯（ethyl ferulate，**17**）、3-(4-羟基-3-甲氧基苯基)丙烷-1,2-二醇 [3-(4-hydroxy-3-methoxyphenyl) propane- 1,2-diol，**18**]、4-allyl-2,6-dimethoxyphenol-1-*O*-β-*D*-xylopyranosyl-(1→6)-β-*D*-glucopyranoside（**19**）、紫丁香苷（syringin，**20**）、(2a*S*,3a*S*) lyciumamide D（**21**）、*N*-反式-对香豆酰酪胺（*N*-*trans*-*p*-coumaroyltyramine，**22**）、*N*-顺式-对香豆酰酪胺（*cis*-*N*-*p*-coumaroyl-tyramine，**23**）、feruloylphenethylamine（**24**）、*N*-反式-阿魏酸酪酰胺（*N*-*trans*-feruloyltyramine，**25**）、*N*-顺式-阿魏酸酪酰胺（*N*-*cis*-feruloyltyramine，**26**）、*N*-反式-桂皮酸酰对羟基苯乙胺（*N*-*trans*-cinnamoyltyramine，**27**）。其中化合物 **1** 为新化合物，命名为黄精苷 M；化合物 **4**、**6**、**8**、**11**、**18**、**19**、**24**、**27** 为首次从百合科中分离得到，化合物 **13**、

16、**17**、**21** 为首次从黄精属植物中分离得到，化合物 **3** 为黄精中首次分离得到。采用 $A\beta_{1\text{-}42}$ 诱导的小鼠海马神经元 HT22 细胞损伤模型，评价了所分离化合物的体外神经保护活性。活性实验结果表明，化合物 **21** 表现出了显著的神经保护活性。本研究进一步丰富黄精的化学成分多样性，明确其神经保护活性的物质基础，为黄精的开发利用及质量控制提供了科学依据。

1 仪器与材料

Bruker-AVANCE NEO III 600 MHz 超导核磁共振光谱仪（德国 Bruker 公司），Waters 2424-2998 分析型高效液相色谱仪（美国 Waters 公司），LC-20AR 型制备型高效液相色谱仪（日本岛津公司），Waters Xevo G2-XS Q-TOF 高分辨质谱仪（美国 Waters 公司），IRXross 红外光谱仪（日本岛津公司），Agilent 7890A 气相色谱仪（美国安捷伦公司），BT 25S 型电子分析天平（德国 Sartorius 公司），Epoch2 全波长酶标仪（美国 BioTek 公司），HF90/HF240 CO_2 培养箱（上海力康生物医疗科技控股有限公司），IX73 型倒置显微镜（日本 Olympus 公司），TDL-4 型低速台式离心机（上海安亭科学仪器厂）。分析型色谱柱（150 mm×4.6 mm，5 μm，美国 Waters 公司），制备型色谱柱（250 mm×20 mm，5 μm，日本岛津公司），检测器为二极管阵列检测器（DAD），DB-5 毛细管柱（30 m×0.25 mm×0.25 μm）；细胞培养瓶、96 孔板（美国 Corning 公司）。柱色谱反相 ODS（ODS-A-HG 50 μm，日本 YMC 公司），柱色谱硅胶（80～100、200～300 目）、GF_{254} 型薄层色谱硅胶板（青岛海洋化工厂），柱色谱用化学试剂甲醇、二氯甲烷（分析纯，天津富宇精细化工有限公司）；HPLC 所用甲醇（色谱级，德国 Merck 公司），超纯水（屈臣氏集团有限公司）；氘代甲醇、吡啶（青岛腾龙微波科技有限公司）；HT22 细胞系（武汉普诺赛生命科技有限公司）、CCK-8 试剂盒（批号 K1018，美国 Apex bio 公司），$A\beta_{1\text{-}42}$ 寡聚体（美国 Sigma 公司），胎牛血清（北京赛贝生物技术有限公司）；Gibco 胎牛血清、DMEM 高糖培养基、青霉素-链霉素-两性霉素 B（批号 102431163、11965092、15240062，赛默飞世尔科技）；盐酸多奈哌齐片（批号 0348002），卫材（中国）药业有限公司。

黄精 2024 年 9 月采集于中国黑龙江省哈尔滨市，经黑龙江中医药大学樊锐锋教授鉴定为百合科植物黄精 *P. sibiricum* Red.的干燥根茎。凭证标本（编号 20240915-01）存于黑龙江中医药大学中药化学标本室。

2 方法

2.1 提取与分离

干燥黄精根茎（80 kg）以 70%乙醇回流提取 3 次，每次 2 h，合并提取液，减压回收溶剂，得醇提浸膏 50.8 kg。鉴于提取物中多糖含量较高，将其加水分散后，加入乙醇进行醇沉处理，静置过夜。上清液浓缩至适宜浓度后经 BJQH 型大孔吸附树脂柱色谱，以乙醇-水体系（体积分数 0%、30%、95%）梯度洗脱，洗脱体积流量恒定为 1 BV/h。分段收集各洗脱部位，获得 3 个部位I～III。将III部位（280 g）进行硅胶柱色谱分离，以二氯甲烷-甲醇（1∶0、50∶1、30∶1、20∶1、10∶1、5∶1、0∶1）系统梯度洗脱，得到 6 个组分 Fr. A～F。

Fr. A（7.3 g）经 ODS 反相柱色谱以甲醇-水（30∶70～100∶0）梯度洗脱，得到 Fr. A1～A15。Fr. A7 经制备型 HPLC（甲醇-水 46∶54）得到化合物 **15**（33.2 mg，t_R＝34.0 min）、**23**（2.6 mg，t_R＝40.0 min）、**22**（1.0 mg，t_R＝41.0 min）和 **25**（4.5 mg，t_R＝45.0 min）；Fr. A10 经制备型 HPLC（甲醇-水 54∶46）得到化合物 **9**（4.3 mg，t_R＝16.0 min）和 **12**（18.6 mg，t_R＝39.0 min）。

Fr. B（11.0 g）经 ODS 反相柱色谱以甲醇-水为洗脱剂梯度洗脱，得到 Fr. B1～B16。Fr. B2 经制备型 HPLC（甲醇-水 45∶55）分离纯化得到化合物 **1**（4.8 mg，t_R＝18.5 min）；Fr. B3 经制备型 HPLC（甲醇-水 51∶49）分离纯化得到化合物 **20**（1.2 mg，t_R＝16.0 min）、**8**（16.7 mg，t_R＝17.0 min）、**4**（0.8 mg，t_R＝18.5 min）和 **5**（1.9 mg，t_R＝22.5 min）；Fr. B5 经制备型 HPLC（甲醇-水 69∶31）得到化合物 **2**（0.4 mg，t_R＝9.0 min）、**3**（2.8 mg，t_R =13.0 min）和 **10**（2.0 mg，t_R＝15.0 min）；Fr. B9 经制备型 HPLC（甲醇-水 87∶13）得到化合物 **18**（2.9 mg，t_R＝22.0 min）和 **6**（1.4 mg，t_R＝25.0 min）；Fr. B12 经制备型 HPLC（甲醇-水 59∶41）得到化合物 **17**（3.0 mg，t_R＝9.5 min）、**16**（2.5 mg，t_R＝14.0 min）、**14**（3.2 mg，t_R＝15.8 min）、**24**（1.6 mg，t_R＝18.0 min）和 **13**（3.5 mg，t_R＝19.0 min）。

Fr. E（9.6 g）经 ODS 反相柱色谱以甲醇-水为洗脱剂梯度洗脱，得到 Fr. E1～E10。Fr. E3 经制备型 HPLC（甲醇-水 42∶58）分离纯化得到化合物 **7**

（6.6 mg，t_R＝16.5 min）、**11**（3.5 mg，t_R＝25.5 min）、**19**（7.6 mg，t_R＝24.0 min）；Fr. E6 经制备型 HPLC（甲醇-水 75∶25）得到 **21**（0.9 mg，t_R＝22.5 min）、**26**（5.7 mg，t_R＝25.5 min）、**27**（1.5 mg，t_R＝40.0 min）。

2.2　糖苷类化合物酸水解

参照文献方法[7]进行酸水解以确定糖绝对构型。取化合物 1 mg，加入 2 mol/L 盐酸 1 mL，水浴加热 3 h，冷却，$NaHCO_3$ 中和，醋酸乙酯萃取，水相浓缩得水解糖。将水解糖溶于吡啶 2 mL，加入 *L*-半胱氨酸甲酯盐酸盐 2.0 mg，60 ℃水浴 1 h；再加入三甲基硅咪唑 0.5 mL，60 ℃水浴 1 h。加水终止反应，正己烷萃取，取正己烷相进行 GC 分析。标准品同法衍生化，对比保留时间确定糖构型。

2.3　黄精化学成分体外神经保护活性实验

将处于对数生长期的 HT22 细胞以每孔 100 μL（密度为 1.0×10^4 个/mL）接种于 96 孔板中，于 37 ℃、5% CO_2 培养箱中培养至细胞贴壁。实验设置空白组（无细胞，仅加培养基）、对照组（有细胞，不加 Aβ，设为 100%存活率）、模型组（$Aβ_{1-42}$ 损伤）、阳性药多奈哌齐组（5 μmol/L）和实验组（20 μmol/L 待测化合物）。除空白组和正常对照组外，其余各组加入含终浓度为 20 μmol/L $Aβ_{1-42}$ 寡聚体的培养基，实验组和阳性药组同时加入相应药物，共同孵育 24 h。孵育结束后，弃去上清，每孔加入 100 μL 含 10% CCK-8 溶液的无血清培养基，于 37 ℃避光孵育 2 h。采用酶标仪检测 450 nm 处的吸光度（*A*）值，重复 3 次。在此基础上，选取与模型组相比具有统计学显著差异（$P<0.01$）的化合物，进一步测定其半数有效浓度（half maximal effective concentration，EC_{50}）。将上述化合物用培养基稀释为系列浓度梯度（0.625、1.25、2.5、5、10、20 μmol/L），按上述方法分别处理 $Aβ_{1-42}$ 诱导的 HT22 细胞。以化合物浓度为横坐标（*X*），细胞存活率为纵坐标（*Y*），利用 GraphPad Prism 8.0 软件中的非线性回归拟合计算各化合物的 EC_{50} 值。阳性药多奈哌齐同步测定作为对照。实验重复 3 次。

3　结果

3.1　结构鉴定

化合物 **1**：白色无定型固体。HR-ESI-MS *m/z* 549.254 1 $[M+H]^+$（计算值 549.254 2），推测分子式为 $C_{25}H_{40}O_{13}$。在 ^{1}H-NMR (600 MHz, CD_3OD) 中有 1 组苯环氢信号 δ_H 6.42 (2H, s, H-2, 6) 以及 2 个糖端基氢信号 δ_H 4.25 (1H, d, *J* = 7.8 Hz, H-1′), 4.37 (1H, d, *J* = 7.9 Hz, H-1″)。2 个甲氧基氢信号 δ_H 3.78 (6H, s, 3, 5-OCH_3)、1 个甲基氢信号 δ_H 1.97 (3H, s, H-4-CH_3)。^{1}H-^{1}H COSY 光谱的相关关系（图 1）揭示了 δ_H 2.60 (2H, t, *J* = 7.6 Hz, H-7) 与 δ_H 1.71 (2H, m, H-8)、δ_H 1.65 (2H, m, H-9) 与 δ_H 3.91 (1H, m, H-10a), 3.57 (1H, m, H-10b) 存在相关信号，证实了亚甲基 -CH_2-CH_2-CH_2-CH_2- 的连接片段。^{13}C-NMR (150 MHz, CD_3OD) 结合 DEPT135 谱提示存在 25 个碳，包括 1 组苯环 δ_C 142.4 (C-1), 104.9 (C-2, 6), 159.2 (C-3, 5), 112.2 (C-4)，3 个为脂肪亚甲基 δ_C 37.2 (C-7), 29.1 (C-8), 30.4 (C-9)，1 个为连氧亚甲基 δ_C 70.8 (C-10)，以及 2 组糖碳信号 δ_C 104.4 (C-1′), 77.0 (C-2′), 75.1 (C-3′), 78.0 (C-4′), 71.4 (C-5′), 69.7 (C-6′), 104.8 (C-1″), 78.0 (C-2″, 3″), 75.1 (C-4″), 71.5 (C-5″), 62.7 (C-6″)，2 个甲氧基碳信号 δ_C 56.1，1 个甲基碳信号 δ_C 8.1。与已知化合物 tazettoside C[8]相比，二者母核基本相似，差别在于化合物 1 苯环带有 3,5-二甲氧基与 4 位甲基取代，同时 C-1 连接的支链长度不同。结合 HMBC 谱远程相关信号（图 1）可确定，δ_H 4.37 (1H, d, *J* = 7.9, H-1″) 与 δ_C 69.7 (C-6′) 存在远程相关信号表明存在 1″→6′糖链（槐糖型葡萄糖二糖）；δ_H 3.78 (6H, s, 3, 5-OCH_3) 与 δ_C 159.2 (C-3, 5)、δ_H 6.42 (2H, s, H-2, 6) 与 δ_C 37.2 (C-7)、δ_H 1.97 (3H, s, 4-CH_3) 与 δ_C 112.2 (C-4)、δ_H 4.25 (1H, d, *J* = 7.8, H-1′) 与 δ_C 70.8 (C-10)，确认了甲氧基、甲基以及糖的连接位置。

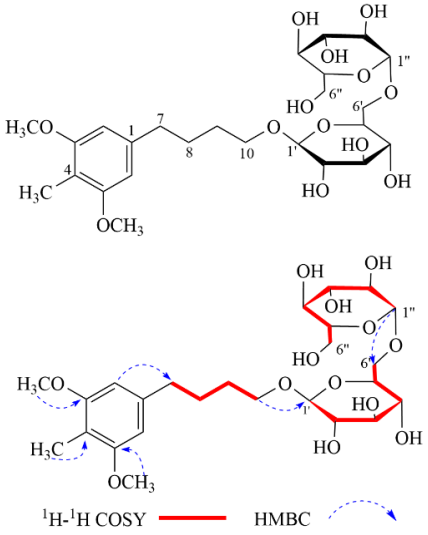


图 1　化合物 1 的关键 HMBC 和 ^{1}H-^{1}H COSY 相关

Fig. 1　Key HMBC and ^{1}H-^{1}H COSY correlations of compound 1

化合物 **1** 酸水解后，通过与相同气相条件下标准品 β-*D*-葡萄糖的保留时间（t_R＝20.5 min）比较，确定化合物 **1** 中所含的 2 个糖均为 β-*D*-葡萄糖。最终确定化合物 **1** 的化学结构为 1-(3,5-二甲氧基-4-甲基苯基)丁基-*O*-β-*D*-吡喃葡萄糖基-(1→6)-β-*D*-吡喃葡萄糖苷。具体 NMR 信息见表 1，通过 SciFinder 查询，确定化合物 **1** 是新的化合物，命名黄精苷 M（sibiricoside M）。

表 1 化合物 1 的 ^{1}H-和 ^{13}C-NMR 数据 (600/150 MHz, CD_3OD)

Table 1 ^{1}H- and ^{13}C-NMR data of compound 1 (600/150 MHz, CD_3OD)

碳位	δ_H	δ_C	碳位	δ_H	δ_C
1		142.4	4′	3.34 (1H, m)	78.0
2, 6	6.42 (2H, s)	104.9	5′	3.34 (1H, m)	71.4
3, 5		159.2	6′	4.14 (1H, dd, *J* = 11.5, 2.1 Hz), 3.76 (1H, m)	69.7
4		112.2	1″	4.37 (1H, d, *J* = 7.9 Hz)	104.8
7	2.60 (2H, t, *J* = 7.6 Hz)	37.2	2″	3.24 (1H, m)	78.0
8	1.71 (2H, m)	29.1	3″	3.34 (1H, m)	78.0
9	1.65 (2H, m)	30.4	4″	3.17 (1H, m)	75.1
10	3.91 (1H, m), 3.57 (1H, m)	70.8	5″	3.27 (1H, m)	71.5
1′	4.25 (1H, d, *J* = 7.8 Hz)	104.4	6″	3.85 (1H, dd, *J* = 11.9, 2.2 Hz)	62.7
				3.65 (1H, dd, *J* = 11.9, 5.6 Hz)	
2′	3.43 (1H, m)	77.0	3, 5-OCH_3	3.78 (6H, s)	56.1
3′	3.21 (1H, m)	75.1	4-CH_3	1.97 (3H, s)	8.1

化合物 **2**：白色粉末状固体，HR-ESI-MS *m*/*z* 417.154 9 $[M-H]^-$（计算值为 417.155 5），分子式为 $C_{22}H_{26}O_8$。^{1}H-NMR (600 MHz, CD_3OD) δ: 6.66 (4H, s, H-2, 2′, 6, 6′), 4.72 (2H, d, *J* = 2.8 Hz, H-7, 7′), 4.27 (2H, m, H-9a, 9′a), 3.88 (2H, m, H-9b, 9′b), 3.85 (12H, s, 3, 5, 3′, 5′-OCH_3), 3.15 (2H, m, H-8, 8′)；^{13}C-NMR (150 MHz, CD_3OD) δ: 149.4 (C-3, 3′, 5, 5′), 136.2 (C-4, 4′), 133.0 (C-1, 1′), 104.5 (C-2, 2′, 6, 6′), 87.6 (C-7, 7′), 72.8 (C-9, 9′), 56.8 (3, 5, 3′, 5′-OCH_3), 55.5 (C-8, 8′)。将化合物 **2** 的 ^{1}H-NMR 和 ^{13}C-NMR 数据与文献报道进行比对，发现两者数据基本一致[9]，确定化合物 **2** 为丁香树脂酚。

化合物 **3**：白色粉末状固体，HR-ESI-MS *m*/*z* 417.154 7 $[M-H]^-$（计算值为 417.155 5），分子式为 $C_{22}H_{26}O_8$。^{1}H-NMR (600 MHz, CD_3OD) δ: 6.66 (4H, s, H-2, 2′, 6, 6′), 4.86 (1H, d, *J* = 6.3 Hz, H-7′), 4.44 (1H, d, *J* = 6.8 Hz, H-7), 4.14 (1H, m, H-9a), 3.88 (1H, m, H-9b), 3.85 (12H, s, 3, 5, 3′, 5′-OCH_3), 3.80 (1H, m, H-9′a), 3.40 (1H, m, H-8′), 3.34 (1H, m, H-9′b), 2.94 (1H, m, H-8)；^{13}C-NMR (150 MHz, CD_3OD) δ: 149.3 (C-3, 5), 149.2 (C-3′, 5′), 136.2 (C-4), 135.4 (C-4′), 133.1 (C-1), 130.6 (C-1′), 104.5 (C-2, 6), 104.0 (C-2′, C-6′), 89.6 (C-7), 83.6 (C-7′), 72.0 (C-9), 70.7 (C-9′), 56.8 (3, 5, 3′, 5′-OCH_3), 55.7 (C-8), 51.2 (C-8′)。将化合物 **3** 的 ^{1}H-NMR 和 ^{13}C-NMR 数据与文献进行比对，发现两者数据基本一致[10]，确定化合物 **3** 为 (−)-表丁香树脂醇。

化合物 **4**：白色粉末状固体，HR-ESI-MS *m*/*z* 387.143 6 $[M-H]^-$（计算值为 387.144 9），分子式为 $C_{21}H_{24}O_7$。^{1}H-NMR (600 MHz, CD_3OD) δ: 6.95 (1H, d, *J* = 1.8 Hz, H-2′), 6.81 (1H, dd, *J* = 8.1, 1.8 Hz, H-6′), 6.76 (1H, d, *J* = 8.1 Hz, H-5′), 6.65 (2H, s, H-2, 6), 4.71 (2H, d, *J* = 4.0 Hz, H-7, 7′), 4.25 (2H, m, H-9a, H-9′a), 3.88 (2H, m, H-9b, 9′b), 3.85 (3H, s, 3′-OCH_3), 3.84 (6H, s, 3, 5-OCH_3), 3.15 (2H, m, H-8, 8′)；^{13}C-NMR (150 MHz, CD_3OD) δ: 149.4 (C-3, 5), 149.2 (C-3′), 147.4 (C-4, 4′), 133.9 (C-1′), 133.2 (C-1), 120.1 (C-6′), 116.2 (C-5′), 111.1 (C-2′), 104.6 (C-2, 6), 87.7 (C-7′), 87.5 (C-7), 72.8 (C-9′), 72.7 (C-9), 56.9 (3, 5-OCH_3), 56.5 (3′-OCH_3), 55.6 (C-8), 55.4 (C-8′)。将化合物 **4** 的 ^{1}H-NMR 和 ^{13}C-NMR 数据与文献进行比对，发现两者数据基本一致[10]，确定化合物 **4** 为(＋)-桉皮树脂醇。

化合物 **5**：黄色无定型固体，HR-ESI-MS *m*/*z* 357.133 8 $[M-H]^-$（计算值为 357.134 3），分子式为 $C_{20}H_{22}O_6$。^{1}H-NMR (600 MHz, CD_3OD) δ: 6.95 (2H, d, *J* = 1.8 Hz, H-2, 2′), 6.81 (2H, dd, *J* = 8.1, 1.7 Hz, H-6, 6′), 6.76 (2H, d, *J* = 8.1 Hz, H-5, 5′), 4.70 (2H,

d, *J* = 4.3 Hz, H-7, 7′), 4.23 (2H, m, H-9a, 9′a), 3.85 (6H, s, 3, 3′-OCH_3), 3.83 (2H, m, H-9b, 9′b), 3.14 (2H, m, H-8, 8′)；^{13}C-NMR (150 MHz, CD_3OD) *δ*: 147.7 (C-3, 3′), 145.9 (C-4, 4′), 132.4 (C-1, 1′), 118.6 (C-6, 6′), 114.6 (C-5, 5′), 109.5 (C-2, 2′), 86.1 (C-7, 7′), 71.2 (C-9, 9′), 55.0 (3, 3′-OCH_3), 54.0 (C-8, 8′)。将化合物 **5** 的 ^{1}H-NMR 和 ^{13}C-NMR 数据与文献进行比对，发现两者数据基本一致[11]，确定化合物 **5** 为 (＋)-松脂素。

化合物 **6**：黄色无定型固体，HR-ESI-MS *m*/*z* 297.112 8 [M－H]$^-$（计算值为 297.113 2），分子式为 $C_{18}H_{18}O_4$。^{1}H-NMR (600 MHz, CD_3OD) *δ*: 7.20 (4H, d, *J* = 8.5 Hz, H-2, 2′, 6, 6′), 6.76 (4H, d, *J* = 8.5 Hz, H-3, 3′, 5, 5′), 4.69 (2H, d, *J* = 4.3 Hz, H-7, 7′), 4.20 (2H, m, H-9b, 9′b), 3.81 (2H, m, H-9a, 9′a), 3.12 (2H, m, H-8, 8′)；^{13}C-NMR (150 MHz, CD_3OD) *δ*: 158.3 (C-4, 4′), 133.0 (C-1, 1′), 128.7 (C-2, 2′, 6, 6′), 116.2 (C-3, 3′, 5, 5′), 87.4 (C-7, 7′), 72.5 (C-9, 9′), 55.3 (C-8, 8′)。将化合物 **6** 的 ^{1}H-NMR 和 ^{13}C-NMR 数据与文献进行比对，发现两者数据基本一致[12]，确定化合物 **6** 为 ligballinol。

化合物 **7**：黄色无定型固体，HR-ESI-MS *m*/*z* 579.207 6 [M－H]$^-$（计算值为 579.208 3），分子式为 $C_{28}H_{36}O_{13}$。^{1}H-NMR (600 MHz, CD_3OD) *δ*: 6.71 (2H, s, H-6′, 2′), 6.65 (2H, s, H-2, 6), 4.90 (1H, m, H-1″), 4.76 (1H, d, *J* = 4 Hz, H-7′), 4.71 (1H, d, *J* = 4.3 Hz, H-7), 4.28 (1H, m, H-9′a), 3.91 (2H, m, H-9′b, 9b), 3.85 (6H, s, 3, 5-OCH_3), 3.84 (6H, s, 3′, 5′-OCH_3), 3.41 (1H, m, H-9a), 3.28～3.75 (5H, overlapped, H-2″～6″), 3.13 (2H, m, H-8′, 8)；^{13}C-NMR (150 MHz, CD_3OD) *δ*: 154.5 (C-3′, 5′), 149.4 (C-3, 5), 139.6 (C-1′), 136.3 (C-4), 135.6 (C-4′), 133.1 (C-1), 105.4 (C-2′, 6′), 104.9 (C-2, 6), 104.6 (C-1″), 87.6 (C-7′), 87.2 (C-7), 78.4 (C-5″), 77.9 (C-3″), 75.8 (C-2″), 73.0 (C-9), 72.9 (C-9′), 71.4 (C-4″), 62.6 (C-6″), 57.1 (3′-OCH_3), 56.9 (5′-OCH_3), 55.8 (8′, 3, 5-OCH_3), 55.5 (C-8)。将化合物 **7** 的 ^{1}H-NMR 和 ^{13}C-NMR 数据与文献进行比对，发现两者数据基本一致[13]，确定化合物 **7** 为 (−)-丁香树脂酚-4′-*O*-β-*D*-葡萄糖苷。

化合物 **8**：黄色无定型固体，HR-ESI-MS *m*/*z* 417.154 9 [M－H]$^-$（计算值为 417.155 5），分子式为 $C_{22}H_{26}O_8$。^{1}H-NMR (600 MHz, CD_3OD) *δ*: 6.65 (4H, s, H-5, 5′, 7, 7′), 4.70 (2H, d, *J* = 4.1 Hz, H-4, 4′), 4.25 (2H, dd, *J* = 9.1, 6.8 Hz, H-2a, 2′a), 3.86 (2H, dd, *J* = 9.1, 3.5 Hz, H-2e, 2′e), 3.83 (12H, s, 6, 8, 6′, 8′-OCH_3), 3.13 (2H, m, H-3, 3′)；^{13}C-NMR (150 MHz, CD_3OD) *δ*: 149.3 (C-6, 6′, 8, 8′), 136.1 (C-9, 9′), 133.1 (C-10, 10′), 104.4 (C-5, 5′, 7, 7′), 87.6 (C-4, 4′), 72.7 (C-2, 2′), 56.7 (6, 8, 6′, 8′-OCH_3), 55.5 (C-3, 3′)。将化合物 **8** 的 ^{1}H-NMR 和 ^{13}C-NMR 数据与文献进行比对，发现两者数据基本一致[14]，确定化合物 **8** 为 3,3′-双(3,4-二氢-4-羟基-6,8-二甲氧基-2H-1-苯并吡喃)。

化合物 **9**：白色无定型固体，HR-ESI-MS *m*/*z* 359.149 6 [M－H]$^-$（计算值为 359.150 0），分子式为 $C_{20}H_{24}O_6$。^{1}H-NMR (600 MHz, C_5D_5N) *δ*: 7.31 (1H, d, *J* = 1.4 Hz, H-2), 7.23 (1H, dd, *J* = 8.2, 1.6 Hz, H-6), 7.20 (1H, brs, H-5), 7.05 (1H, s, H-2′), 6.90 (1H, s, H-6′), 6.05 (1H, d, *J* = 6.9 Hz, H-7), 4.25 (1H, m, H-9b), 4.19 (1H, m, H-9a), 3.95 (1H, m, H-8), 3.91 (2H, m, H-9′), 3.81 (3H, s, 3′-OCH_3), 3.60 (3H, s, 3-OCH_3), 2.85 (2H, m, H-7′), 2.07 (2H, m, H-8′)；^{13}C-NMR (150 MHz, C_5D_5N) *δ*: 148.6 (C-4), 147.9 (C-3), 147.1 (C-4′), 144.4 (C-3′), 135.9 (C-5′), 133.6 (C-1), 129.9 (C-1′), 119.5 (C-6), 117.3 (C-6′), 116.3 (C-5), 113.3 (C-2′), 110.5 (C-2), 88.2 (C-7), 64.1 (C-9), 61.2 (C-9′), 55.9 (3′-OCH_3), 55.5 (3-OCH_3), 54.8 (C-8), 35.8 (C-8′), 32.4 (C-7′)。将化合物 **9** 的 ^{1}H-NMR 和 ^{13}C-NMR 数据与文献进行比对，发现两者数据基本一致[15]，确定化合物 **9** 为二氢脱氢二柏醇。

化合物 **10**：黄色无定型固体，HR-ESI-MS *m*/*z* 521.201 9 [M－H]$^-$（计算值为 521.202 8），分子式为 $C_{26}H_{34}O_{11}$。^{1}H-NMR (600 MHz, CD_3OD) *δ*: 7.16 (1H, d, *J* = 8.3 Hz, H-5), 7.05 (1H, d, *J* = 1.7 Hz, H-2), 6.95 (1H, dd, *J* = 8.3, 1.8 Hz, H-6), 6.74 (2H, d, *J* = 9.9 Hz, H-2′, 6′), 5.57 (1H, d, *J* = 5.9 Hz, H-7), 4.91 (1H, m, H-1″), 3.88 (3H, s, 3-OCH_3), 3.85 (3H, s, 3′-OCH_3), 3.77 (1H, m, H-9b), 3.70 (2H, m, H-6″), 3.58 (2H, m, H-9′), 3.51 (1H, m, H-8), 3.49 (1H, m, H-9a), 3.47 (1H, m, H-5″), 3.46 (1H, m, H-2″), 3.41 (2H, m, H-3″, 4″), 2.64 (2H, m, H-7′), 1.83 (2H, m, H-8′)；^{13}C-NMR (150 MHz, CD_3OD) *δ*: 149.6 (C-3), 146.2 (C-4), 146.1 (C-4′), 143.9 (C-3′), 137.0 (C-1), 135.7 (C-1′), 128.2 (C-5′), 118.0 (C-5), 116.7 (C-6), 116.5 (C-6′), 112.8 (C-2′), 109.8 (C-2), 101.2 (C-1″), 87.1 (C-7), 76.8 (C-3″), 76.4 (C-5″), 73.5 (C-2″), 69.9 (C-4″), 63.7 (C-9), 61.1 (C-6″), 60.8 (C-9′), 55.4 (3-OCH_3), 55.3 (3′-OCH_3), 54.3

(C-8), 34.4 (C-7′), 31.5 (C-8′)。将化合物 **10** 的 ^{1}H-NMR 和 ^{13}C-NMR 数据与文献进行比对，发现两者数据基本一致[16]，确定化合物 **10** 为(7*S*,8*R*)-urolignoside。

化合物 **11**：无色油状物，HR-ESI-MS *m*/*z* 267.101 3 [M－H]$^-$（计算值为 267.102 6），分子式为 $C_{17}H_{16}O_3$。^{1}H-NMR (600 MHz, CD_3OD) *δ*: 7.44 (1H, d, *J* = 15.7 Hz, H-1), 7.39 (2H, d, *J* = 8.5 Hz, H-2′, 6′), 7.05 (2H, d, *J* = 8.4 Hz, H-2″, 6″), 6.78 (2H, d, *J* = 8.5 Hz, H-3′, 5′), 6.71 (2H, d, *J* = 8.4 Hz, H-3″, 5″), 6.38 (1H, d, *J* = 15.7 Hz, H-2), 3.45 (2H, t, *J* = 7.4 Hz, H-4), 2.75 (2H, t, *J* = 7.4 Hz, H-5)；^{13}C-NMR (150 MHz, CD_3OD) *δ*: 169.3 (C-3), 160.6 (C-4′), 157.0 (C-4″), 141.8 (C-1), 130.8 (C-1″), 130.7 (C-2″, 6″), 130.6 (C-2′, 6′), 127.8 (C-1′), 118.5 (C-2), 116.8 (C-3′, 5′, 3″), 116.3 (C-5″), 42.6 (C-4), 35.9 (C-5)。将化合物 **11** 的 ^{1}H-NMR 和 ^{13}C-NMR 数据与文献进行比对，发现两者数据基本一致[17]，确定化合物 **11** 为 artamenone。

化合物 **12**：无色油状物，HR-ESI-MS *m*/*z* 313.107 4 [M－H]$^-$（计算值为 313.108 1），分子式为 $C_{18}H_{18}O_5$。^{1}H-NMR (600 MHz, CD_3OD) *δ*: 7.44 (1H, d, *J* = 15.6 Hz, H-7), 7.10 (1H, d, *J* = 1.9 Hz, H-2), 7.05 (2H, d, *J* = 8.4 Hz, H-2′, 6′), 7.01 (1H, dd, *J* = 8.2, 1.9 Hz, H-6), 6.79 (1H, d, *J* = 8.2 Hz, H-5), 6.72 (2H, d, *J* = 8.4 Hz, H-3′, 5′), 6.40 (1H, d, *J* = 15.6 Hz, H-8), 3.86 (3H, s, 3-OCH_3), 3.46 (2H, t, *J* = 7.4 Hz, H-1″), 2.75 (2H, t, *J* = 7.4 Hz, H-2″)；^{13}C-NMR (150 MHz, CD_3OD) *δ*: 169.2 (C-9), 156.9 (C-4′), 149.8 (C-4), 149.2 (C-3), 142.0 (C-7), 131.3 (C-1′), 130.7 (C-2′, 6′), 128.2 (C-1), 123.2 (C-6), 118.7 (C-8), 116.4 (C-5), 116.2 (C-3′, C-5′), 111.5 (C-2), 56.4 (3-OCH_3), 42.5 (C-1″), 35.8 (C-2″)。将 ^{1}H-NMR 和 ^{13}C-NMR 数据与文献进行比对，发现两者数据基本一致[18]，确定化合物 **12** 为反式-阿魏酸对羟基苯乙酯。

化合物 **13**：无色油状物，HR-ESI-MS *m*/*z* 207.065 5 [M－H]$^-$（计算值为 207.066 2），分子式为 $C_{11}H_{12}O_4$。^{1}H-NMR (600 MHz, CD_3OD) *δ*: 7.61 (1H, d, *J* = 16.0 Hz, H-1′), 7.18 (1H, br s, H-2), 7.07 (1H, br d, *J* = 8.2 Hz, H-6), 6.82 (1H, d, *J* = 8.2 Hz, H-5), 6.36 (1H, d, *J* = 16.0 Hz, H-2′), 3.89 (3H, s, 3-OCH_3), 3.77 (3H, s, 3′-OCH_3)；^{13}C-NMR (150 MHz, CD_3OD) *δ*: 169.7 (C-3′), 150.6 (C-4), 149.3 (C-3), 146.8 (C-1′), 127.7 (C-1), 124.1 (C-6), 116.4 (C-5), 115.2 (C-2′), 111.7 (C-2), 56.4 (3-OCH_3), 52.0 (3′-OCH_3)。将化合物 **13** 的 ^{1}H-NMR 和 ^{13}C-NMR 数据与文献进行比对，发现两者数据基本一致[19]，确定化合物 **13** 为阿魏酸甲酯。

化合物 **14**：无色油状物，HR-ESI-MS *m*/*z* 193.049 9 [M－H]$^-$（计算值为 193.050 6），分子式为 $C_{10}H_{10}O_4$。^{1}H-NMR (600 MHz, CD_3OD) *δ*: 7.61 (1H, d, *J* = 15.9 Hz, H-7), 7.20 (1H, d, *J* = 1.7 Hz, H-2), 7.08 (1H, dd, *J* = 8.2, 1.2 Hz, H-6), 6.83 (1H, d, *J* = 8.2 Hz, H-5), 6.33 (1H, d, *J* = 15.9 Hz, H-8), 3.91 (3H, s, 3-OCH_3)；^{13}C-NMR (150 MHz, CD_3OD) *δ*: 171.1 (C-9), 150.5 (C-4), 149.4 (C-3), 146.8 (C-7), 127.8 (C-8), 126.3 (C-1), 124.0 (C-6), 116.5 (C-5), 111.7 (C-2), 56.4 (3-OCH_3)。将化合物 **14** 的 ^{1}H-NMR 和 ^{13}C-NMR 数据与文献进行比对，发现两者数据基本一致[20]，确定化合物 **14** 为阿魏酸。

化合物 **15**：白色粉末状固体，HR-ESI-MS *m*/*z* 163.039 3 [M－H]$^-$（计算值为 163.040 0），分子式为 $C_9H_8O_3$。^{1}H-NMR (600 MHz, CD_3OD) *δ*: 7.62 (1H, d, *J* = 15.9 Hz, H-7), 7.45 (2H, d, *J* = 8.6 Hz, H-3, 5), 6.82 (2H, d, *J* = 8.6 Hz, H-2, 6), 6.30 (1H, d, *J* = 15.9 Hz, H-8)；^{13}C-NMR (150 MHz, CD_3OD) *δ*: 171.1 (C-9), 161.1 (C-1), 146.6 (C-4), 131.1 (C-3, 5), 127.2 (C-7), 116.8 (C-2, 6), 115.6 (C-8)。将化合物 **15** 的 ^{1}H-NMR 和 ^{13}C-NMR 数据与文献进行比对，发现两者数据基本一致[21]，确定化合物 **15** 为对香豆酸。

化合物 **16**：无色油状物，HR-ESI-MS *m*/*z* 207.065 2 [M－H]$^-$（计算值为 207.066 2），分子式为 $C_{11}H_{12}O_4$。^{1}H-NMR (600 MHz, CD_3OD) *δ*: 7.53 (1H, d, *J* = 15.9 Hz, H-7), 7.03 (1H, brs, H-2), 6.94 (1H, brd, *J* = 8.1 Hz, H-6), 6.78 (1H, d, *J* = 8.1 Hz, H-5), 6.25 (1H, d, *J* = 15.9 Hz, H-8), 4.21 (2H, q, *J* = 7.1 Hz, H-10), 1.31 (3H, t, *J* = 7.1 Hz, H-11)；^{13}C-NMR (150 MHz, CD_3OD) *δ*: 169.3 (C-9), 149.5 (C-8), 146.8 (C-3), 146.7 (C-4), 127.7 (C-1), 122.9 (C-6), 116.5 (C-5), 115.3 (C-2), 115.1 (C-7), 61.4 (C-10), 14.6 (C-11)。将化合物 **16** 的 ^{1}H-NMR 和 ^{13}C-NMR 数据与文献进行比对，发现两者数据基本一致[22]，确定化合物 **16** 为咖啡酸乙酯。

化合物 **17**：无色油状物，HR-ESI-MS *m*/*z* 221.080 9 [M－H]$^-$（计算值为 221.081 9），分子式为 $C_{12}H_{14}O_4$。^{1}H-NMR (600 MHz, CD_3OD) *δ*: 7.62 (1H, d, *J* = 16.0 Hz, H-7), 7.20 (1H, d, *J* = 1.8 Hz, H-

5), 7.08 (1H, dd, *J* = 8.2, 1.8 Hz, H-6), 6.83 (1H, d, *J* = 8.2 Hz, H-2), 6.37 (1H, d, *J* = 16.0 Hz, H-8), 4.24 (2H, q, *J* = 7.1 Hz, H-10), 3.93 (3H, s, 4-OCH_3), 1.33 (3H, t, *J* = 7.1 Hz, H-11)；^{13}C-NMR (150 MHz, CD_3OD) *δ*: 169.3 (C-9), 150.6 (C-4), 149.4 (C-3), 146.6 (C-7), 127.7 (C-1), 124.0 (C-6), 116.5 (C-5), 115.6 (C-2), 111.7 (C-8), 61.4 (C-10), 56.4 (4-OCH_3), 14.6 (C-11)。将化合物 **17** 的 ^{1}H-NMR 和 ^{13}C-NMR 数据与文献进行比对，发现两者数据基本一致[23]，确定化合物 **17** 为阿魏酸乙酯。

化合物 **18**：白色粉末状固体，HR-ESI-MS *m*/*z* 213.075 8 $[M-H]^-$（计算值为 213.076 8），分子式为 $C_{10}H_{14}O_5$。^{1}H-NMR (600 MHz, CD_3OD) *δ*: 7.00 (1H, d, *J* = 1.7 Hz, H-2′), 6.82 (1H, d, *J* = 8.1 Hz, H-5′), 6.78 (1H, dd, *J* = 8.1, 1.8 Hz, H-6′), 4.53 (1H, d, *J* = 6.3 Hz, H-1), 3.88 (3H, s, 3′-OCH_3), 3.68 (1H, dd, *J* = 6.3, 2.4 Hz, H-2), 3.49 (2H, brd, *J* = 3.9 Hz, H-3)；^{13}C-NMR (150 MHz, CD_3OD) *δ*: 148.9 (C-3′), 147.1 (C-4′), 134.9 (C-1′), 120.7 (C-6′), 115.9 (C-5′), 111.5 (C-2′), 77.6 (C-1), 75.5 (C-2), 64.3 (C-3), 56.4 (3′-OCH_3)。将化合物 **18** 的 ^{1}H-NMR 和 ^{13}C-NMR 数据与文献进行比对，发现两者数据基本一致[24]，确定化合物 **18** 为 3-(4-羟基-3-甲氧基苯基)丙烷-1,2-二醇。

化合物 **19**：黄色无定型固体，HR-ESI-MS *m*/*z* 487.182 5 $[M-H]^-$（计算值为 487.182 1），分子式为 $C_{22}H_{32}O_{12}$。^{1}H-NMR (600 MHz, CD_3OD) *δ*: 6.52 (2H, s, H-2, 6), 5.97 (1H, m, H-8), 5.10 (1H, m, H-9b), 5.05 (1H, m, H-9a), 4.81 (1H, d, *J* = 7.7 Hz, H-1′), 4.20 (1H, d, *J* = 7.5 Hz, H-1″), 3.82 (6H, s, 3, 5-OCH_3), 3.34 (2H, m, H-7), 3.33～3.50 (9H, overlapped, H-2′～6′, 2″～5″)；^{13}C-NMR (150 MHz, CD_3OD) *δ*: 154.3 (C-2, C-6), 138.7 (C-1), 138.4 (C-8), 134.3 (C-4), 116.2 (C-9), 107.4 (C-3, C-5), 105.2 (C-1″), 105.0 (C-1′), 77.7 (C-3′), 77.6 (C-3″), 77.4 (C-5′), 75.6 (C-2′), 74.9 (C-2″), 71.3 (C-4′), 71.2 (C-4″), 69.1 (C-6′), 66.7 (C-5″), 57.0 (3, 5-OCH_3), 41.4 (C-7)。将化合物 **19** 的 ^{1}H-NMR 和 ^{13}C-NMR 数据与文献进行比对，发现两者数据基本一致[25]，确定化合物 **19** 为 4-allyl-2,6-dimethoxyphenol 1-*O*-β-*D*-xylopyranosyl-(1→6)-β-*D*-glucopyranoside。

化合物 **20**：黄色无定型固体，HR-ESI-MS *m*/*z* 371.134 0 $[M-H]^-$（计算值为 371.134 7），分子式为 $C_{17}H_{24}O_9$。^{1}H-NMR (600 MHz, CD_3OD) *δ*: 6.75 (2H, s, H-2, 6), 6.54 (1H, d, *J* = 15.8 Hz, H-7), 6.33 (1H, dt, *J* = 15.8, 5.6 Hz, H-8), 4.87 (1H, d, *J* = 7.7 Hz, H-1′), 4.22 (2H, dd, *J* = 5.6, 1.4 Hz, H-9), 3.86 (6H, s, 3, 5-OCH_3), 3.18～3.80 (5H, m, H-2′～6′)；^{13}C-NMR (150 MHz, CD_3OD) *δ*: 154.4 (C-3, 5), 135.3 (C-4), 131.3 (C-1, 7), 130.1 (C-8), 105.5 (C-2, 6), 105.4 (C-1′), 78.4 (C-3′), 77.9 (C-5′), 75.8 (C-2′), 71.4 (C-4′), 63.6 (C-9), 62.6 (C-6′), 57.0 (3, 5-OCH_3)。将化合物 **20** 的 ^{1}H-NMR 和 ^{13}C-NMR 数据与文献进行比对，发现两者数据基本一致[26]，确定化合物 **20** 为紫丁香苷。

化合物 **21**：黄色无定型固体，HR-ESI-MS *m*/*z* 623.239 0 $[M-H]^-$（计算值为 623.239 9），分子式为 $C_{36}H_{36}N_2O_8$。^{1}H-NMR (600 MHz, CD_3OD) *δ*: 7.20 (1H, s, H-2b), 6.97 (2H, d, *J* = 8.4 Hz, H-4′b, 8′b), 6.88 (1H, s, H-8b), 6.81 (2H, d, *J* = 8.5 Hz, H-4′a, 8′a), 6.70 (1H, m, H-5a), 6.67 (2H, d, *J* = 8.4 Hz, H-5′b, 7′b), 6.64 (2H, m, H-5′a, 7′a), 6.63 (1H, m, H-8a), 6.51 (1H, s, H-5b), 6.41 (1H, m, H-9a), 4.34 (1H, d, *J* = 4.1 Hz, H-3a), 3.89 (3H, s, 6b-OCH_3), 3.75 (3H, s, 6a-OCH_3), 3.68 (1H, d, *J* = 4.1 Hz, H-2a), 3.41 (1H, m, H-1′ba), 3.35 (1H, m, H-1′bb), 3.23 (1H, m, H-1′aa), 3.21 (1H, m, H-1′ab), 2.69 (2H, d, *J* = 7.3 Hz, H-2′b), 2.47 (2H, m, H-2′a)；^{13}C-NMR (150 MHz, CD_3OD) *δ*: 174.6 (C-1a), 170.5 (C-1b), 156.9 (C-6′b), 156.8 (C-6′a), 149.7 (C-7b), 148.9 (C-6a), 148.2 (C-6b), 146.4 (C-7a), 135.9 (C-4a), 134.7 (C-2b), 132.6 (C-3b), 131.4 (C-3′b), 131.2 (C-3′a), 130.9 (C-4′b, 8′b), 130.8 (C-4′a, 8′a), 127.7 (C-4b), 125.0 (C-9b), 121.5 (C-9a), 117.2 (C-8b), 116.0 (C-8a, 5′b, 5′a, 7′b, 7′a), 113.2 (C-5b), 112.6 (C-5a), 56.7 (6b-OCH_3), 56.4 (6a-OCH_3), 51.1 (C-2a), 47.7 (C-3a), 42.8 (C-1′b), 42.4 (C-1′a), 35.7 (C-2′b), 35.5 (C-2′a)。将化合物 **21** 的 ^{1}H-NMR 和 ^{13}C-NMR 数据与文献进行比对，发现两者数据基本一致[27]，确定化合物 **21** 为 (2a*S*,3a*S*)-lyciumamide D。

化合物 **22**：白色粉末状固体，HR-ESI-MS *m*/*z* 282.112 3 $[M-H]^-$（计算值为 282.113 5），分子式为 $C_{17}H_{17}NO_3$。^{1}H-NMR (600 MHz, CD_3OD) *δ*: 7.43 (1H, d, *J* = 15.7 Hz, H-8), 7.39 (2H, d, *J* = 8.6 Hz, H-2, 6), 7.05 (2H, d, *J* = 8.4 Hz, H-2′, 6′), 6.78 (2H, d, *J* = 8.6 Hz, H-3, 5), 6.71 (2H, d, *J* = 8.4 Hz, H-3′, 5′), 6.38 (1H, d, *J* = 15.7 Hz, H-7), 3.44 (2H, t, *J* = 7.5 Hz, H-8′), 2.74

(2H, t, *J* = 7.5 Hz, H-7′); ^{13}C-NMR (150 MHz, CD_3OD) *δ*: 169.4 (C-9), 160.6 (C-4), 157.0 (C-4′), 141.8 (C-7), 131.4 (C-1′), 130.8 (C-2, 6), 130.6 (C-2′, 6′), 127.8 (C-1), 118.5 (C-8), 116.8 (C-3, 5), 116.3 (C-3′, 5′), 42.6 (C-8′), 35.9 (C-7′)。将化合物 **22** 的 ^{1}H-NMR 和 ^{13}C-NMR 数据与文献进行比对，发现两者数据基本一致[28]，确定化合物 **22** 为 *N*-反式-对香豆酰酪胺。

化合物 **23**：白色粉末状固体，HR-ESI-MS *m*/*z* 282.112 8 $[M-H]^-$（计算值为 282.113 5），分子式为 $C_{17}H_{17}NO_3$。^{1}H-NMR (600 MHz, CD_3OD) *δ*: 7.36 (2H, d, *J* = 8.6 Hz, H-2, 6), 7.00 (2H, d, *J* = 8.4 Hz, H-2′, 6′), 6.72 (2H, d, *J* = 8.6 Hz, H-3, 5), 6.69 (2H, d, *J* = 8.4 Hz, H-3′, 5′), 6.60 (1H, d, *J* = 12.6 Hz, H-8), 5.79 (1H, d, *J* = 12.6 Hz, H-7), 3.38 (2H, t, *J* = 7.4 Hz, H-8′), 2.69 (2H, t, *J* = 7.4 Hz, H-7′); ^{13}C-NMR (150 MHz, CD_3OD) *δ*: 170.3 (C-9), 159.2 (C-4), 156.9 (C-4′), 138.0 (C-7), 132.2 (C-2, 6), 131.2 (C-1′), 130.7 (C-2′, 6′), 128.0 (C-1), 121.5 (C-8), 116.2 (C-3, 5), 116.0 (C-3′, 5′), 42.3 (C-8′), 35.5 (C-7′)。将化合物 **23** 的 ^{1}H-NMR 和 ^{13}C-NMR 数据与文献进行比对，发现两者数据基本一致[29]，确定化合物 **23** 为 *N*-顺式-对香豆酰酪胺。

化合物 **24**：黄色无定型固体，HR-ESI-MS *m*/*z* 296.128 1 $[M-H]^-$（计算值为 296.129 2），分子式为 $C_{18}H_{19}NO_3$。^{1}H-NMR (600 MHz, CD_3OD) *δ*: 7.43 (1H, d, *J* = 15.4 Hz, H-7), 7.29 (2H, m, H-3′, H-5′), 7.25 (2H, d, *J* = 6.8 Hz, H-2′, 6′), 7.19 (1H, m, H-4′), 7.11 (1H, brs, H-2), 7.02 (1H, brd, *J* = 7.8 Hz, H-6), 6.79 (1H, d, *J* = 7.2 Hz, H-5), 6.39 (1H, d, *J* = 15.4 Hz, H-8), 3.88 (3H, s, 3-OCH_3), 3.52 (2H, m, H-8′), 2.85 (2H, m, H-7′); ^{13}C-NMR (150 MHz, CD_3OD) *δ*: 169.3 (C-9), 150.0 (C-3), 149.4 (C-4), 142.2 (C-7), 140.6 (C-1′), 129.9 (C-3′, 5′), 129.7 (C-6′), 129.6 (C-2′), 128.2 (C-4′), 127.4 (C-6), 123.3 (C-1), 118.6 (C-8), 116.5 (C-2), 111.5 (C-5), 56.4 (3-OCH_3), 42.3 (C-8′), 36.7 (C-7′)。将化合物 **24** 的 ^{1}H-NMR 和 ^{13}C-NMR 数据与文献进行比对，发现两者数据基本一致[30]，确定化合物 **24** 为 feruloylphenethylamine。

化合物 **25**：无色油状物，HR-ESI-MS *m*/*z* 312.123 3 $[M-H]^-$（计算值为 312.124 1），分子式为 $C_{18}H_{19}NO_4$。^{1}H-NMR (600 MHz, CD_3OD) *δ*: 7.43 (1H, d, *J* = 15.7 Hz, H-7), 7.11 (1H, brs, H-2), 7.05 (2H, d, *J* = 8.3 Hz, H-2′, 6′), 7.02 (1H, d, *J* = 8.1 Hz, H-6), 6.79 (1H, d, *J* = 8.1 Hz, H-5), 6.71 (2H, d, *J* = 8.3 Hz, H-3′, 5′), 6.40 (1H, d, *J* = 15.7 Hz, H-8), 3.88 (3H, s, 3-OCH_3), 3.46 (2H, t, *J* = 7.4 Hz, H-1″), 2.75 (2H, t, *J* = 7.4 Hz, H-2″); ^{13}C-NMR (150 MHz, CD_3OD) *δ*: 167.8 (C-9), 155.6 (C-4′), 148.5 (C-4), 147.9 (C-3), 140.6 (C-7), 129.9 (C-1′), 129.3 (C-2′, 6′), 126.9 (C-1), 121.8 (C-6), 117.3 (C-8), 115.1 (C-5), 114.9 (C-3′, 5′), 110.1 (C-2), 55.0 (3-OCH_3), 41.1 (C-1″), 34.4 (C-2″)。将化合物 **25** 的 ^{1}H-NMR 和 ^{13}C-NMR 数据与文献进行比对，发现两者数据基本一致[31]，确定化合物 **25** 为 *N*-反式-阿魏酸酪酰胺。

化合物 **26**：无色油状物，HR-ESI-MS *m*/*z* 312.123 1 $[M-H]^-$（计算值为 312.124 1），分子式为 $C_{18}H_{19}NO_4$。^{1}H-NMR (600 MHz, CD_3OD) *δ*: 7.38 (1H, d, *J* = 1.9 Hz, H-2), 7.01 (2H, d, *J* = 8.5 Hz, H-2′, 6′), 6.94 (1H, dd, *J* = 8.2, 1.9 Hz, H-6), 6.76 (1H, d, *J* = 8.2 Hz, H-5), 6.71 (2H, d, *J* = 8.5 Hz, H-3′, 5′), 6.63 (1H, d, *J* = 12.7 Hz, H-7), 5.83 (1H, d, *J* = 12.7 Hz, H-8), 3.85 (3H, s, 3-OCH_3), 3.41 (2H, t, *J* = 7.4 Hz, H-8′), 2.71 (2H, t, *J* = 7.4 Hz, H-7′); ^{13}C-NMR (150 MHz, CD_3OD) *δ*: 170.3 (C-9), 156.9 (C-4′), 148.6 (C-3), 148.5 (C-4), 138.4 (C-7), 131.2 (C-1′), 130.7 (C-2′, 6′), 128.5 (C-1), 124.8 (C-6), 121.6 (C-8), 116.2 (C-3′, 5′), 115.8 (C-5), 113.9 (C-2), 56.4 (3-OCH_3), 42.3 (C-8′), 35.6 (C-7′)。将化合物 **26** 的 ^{1}H-NMR 和 ^{13}C-NMR 数据与文献进行比对，发现两者数据基本一致[32]，确定化合物 **26** 为 *N*-顺式-阿魏酸酪酰胺。

化合物 **27**：白色粉末状固体，HR-ESI-MS *m*/*z* 266.117 5 $[M-H]^-$（计算值为 266.118 6），分子式为 $C_{17}H_{17}NO_2$。^{1}H-NMR (600 MHz, CD_3OD) *δ*: 7.54 (2H, m, H-2, 6), 7.53 (1H, brs, H-7), 7.38 (1H, m, H-3), 7.37 (1H, m, H-4), 7.36 (1H, m, H-5), 7.05 (2H, d, *J* = 8.4 Hz, H-2′, 6′), 6.72 (2H, d, *J* = 8.4 Hz, H-3′, 5′), 6.57 (1H, d, *J* = 15.8 Hz, H-8), 3.47 (2H, t, *J* = 7.4 Hz, H-8′), 2.76 (2H, t, *J* = 7.4 Hz, H-7′); ^{13}C-NMR (150 MHz, CD_3OD) *δ*: 168.7 (C-9), 157.0 (C-4′), 141.7 (C-7), 136.4 (C-1), 131.3 (C-1′), 130.8 (C-4, 2′, 6′), 130.0 (C-3, 5), 128.8 (C-2, 6), 121.9 (C-8), 116.3 (C-3′, 5′), 42.6 (C-8′), 35.8 (C-7′)。将化合物 **27** 的 ^{1}H-NMR 和 ^{13}C-NMR 数据与文献进行比对，发现两者数据基本一致[33]，确定化合物 **27** 为 *N*-反式-桂皮酸酰对羟基苯乙胺。

3.2 体外神经保护活性研究结果

按照“2.3”项下方法进行测定，与模型组相比，上述化合物在 20 μmol/L 浓度下均表现出不同程度

的神经保护活性（表 2），其中化合物 **21** 的细胞存活率最高（86.39%），接近阳性药多奈哌齐（84.63%）。为进一步明确其效价强度，对单浓度初筛中具有显著活性的 12 个化合物（$P<0.01$）进行了量效关系考察，计算其 EC_{50} 值（表 3）。结果表明，化合物 **21** 同样表现出最强的神经保护活性，其 EC_{50} 值为（2.12±0.28）μmol/L，且与阳性药多奈哌齐（EC_{50}=2.53 μmol/L）较为接近。化合物 **4**（EC_{50}=6.58 μmol/L）、**5**（EC_{50}=7.02 μmol/L）、**9**（EC_{50}=5.36 μmol/L）亦显示出良好的量效关系。

表 2　各化合物对 Aβ$_{1\text{-}42}$ 诱导的 HT22 细胞损伤存活率的影响（$\bar{x}\pm s, n=3$）

Table 2　Effects of compounds on Aβ$_{1\text{-}42}$-induced HT22 cells viability ($\bar{x}\pm s, n=3$)

组别	细胞存活率/%	组别	细胞存活率/%
模型	51.42±4.12$^{\#\#}$	**14**	69.44±5.99**
阳性药	84.63±2.39**	**15**	56.02±3.64
1	52.40±3.97	**16**	59.58±4.23
2	67.88±1.20**	**17**	61.40±6.48
3	61.10±6.61	**18**	66.61±3.31**
4	77.28±1.92**	**19**	53.53±0.53
5	77.94±6.78**	**20**	61.75±0.23*
6	53.86±5.36	**21**	86.39±2.15**
7	59.69±5.71	**22**	66.40±1.84**
8	60.92±6.49	**23**	63.85±1.56*
9	78.70±1.95**	**24**	60.61±2.50
10	51.95±6.10	**25**	72.54±1.93**
11	56.38±2.41	**26**	71.10±6.61**
12	71.62±4.50**	**27**	64.31±3.83*
13	76.15±4.02**		

与对照组比较：$^{\#\#}P<0.01$；与模型组比较：$^{*}P<0.05$　$^{**}P<0.01$。

$^{\#\#}P<0.01$ *vs* control group; $^{*}P<0.05$　$^{**}P<0.01$ *vs* model group.

表 3　活性化合物对 Aβ$_{1\text{-}42}$ 诱导的 HT22 细胞损伤 EC_{50}（$\bar{x}\pm s, n=3$）

Table 3　EC_{50} values of active compounds against Aβ$_{1\text{-}42}$ induced HT22 cells injury ($\bar{x}\pm s, n=3$)

组别	EC_{50}/(μmol·L^{-1})	组别	EC_{50}/(μmol·L^{-1})
阳性药	2.53±0.34	**14**	＞20
2	＞20	**18**	＞20
4	6.58±0.83	**21**	2.12±0.28
5	7.02±0.89	**22**	13.96±1.85
9	5.36±0.67	**25**	9.87±1.30
12	9.53±1.21	**26**	10.42±1.38
13	＞20		

4　讨论

本实验对黄精的化学成分进行了系统分离与鉴定，共获得 27 个苯丙素类化合物，包括 1 个新苯丙素糖苷（黄精苷 M），26 个已知化合物（9 个木脂素、10 个简单苯丙素及 7 个苯丙酰胺类成分）。其中化合物 **4**、**6**、**8**、**11**、**18**、**19**、**24**、**27** 为首次从百合科中分离得到，化合物 **13**、**16**、**17**、**21** 为首次从黄精属植物中分离得到，化合物 **3** 为本植物中首次分离得到。该结果显著丰富了黄精的小分子化合物结构多样性，表明苯丙素类成分是黄精中一类重要的特征性次生代谢产物。体外神经保护活性研究表明，多数木脂素类及肉桂酰胺类化合物对 Aβ$_{1\text{-}42}$ 诱导的 HT22 神经元损伤具有显著的保护作用，其中化合物 **21** 活性最为突出（细胞存活率达 86.39%），接近阳性药多奈哌齐（84.63%）。量效关系评价结果表明，多数活性化合物的 EC_{50} 值在 2～14 μmol/L，其中苯丙酰胺类二聚体化合物 **21** 活性最为突出（EC_{50}=2.12 μmol/L），提示该类骨架具有深入开发的抗 AD 潜力。初步构效关系分析推测，游离酚羟基、甲氧基取代及二聚体骨架可能对神经保护活性具有重要贡献。然而，本研究暂未深入阐明活性化合物作用机制，包括抗氧化、抗凋亡及相关信号通路调控等。后续研究可结合分子生物学技术阐明其作用靶点，并通过动物模型验证其体内药效，为黄精苯丙素类成分的深入开发提供更充分的实验依据。

利益冲突　所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

[1] 中国药典 [S]. 一部. 2025: 328-329.

[2] 宋添力, 张钰, 肖强, 等. 黄精化学成分以及药用价值的研究进展 [J]. 中华中医药学刊, 2024, 42(11): 119-126.

[3] 钱红月, 肖移生. 黄精防治神经系统类疾病的研究进展 [J]. 中药药理与临床, 2021, 37(6): 236-240.

[4] 苏文晓, 倪俏一, 任秀贞, 等. 基于网络药理学和分子对接技术探讨黄精治疗炎症性肠病的作用机制 [J]. 现代药物与临床, 2025, 40(4): 861-868.

[5] 胡康棣, 李昌林, 李昌素, 等. 黄精功能成分的研究进展 [J]. 安徽农业科学, 2021, 49(12): 16-18.

[6] 李恒谦, 黄晓旭, 成忠均, 等. 黄精化学成分及药理作用研究进展 [J]. 农业工程, 2023, 13(11): 63-67.

[7] Yang B Y, Guo R, Li T, *et al*. New anti-inflammatory withanolides from the leaves of *Datura metel* L. [J]. *Steroids*, 2014, 87: 26-34.

[8] Morikawa T, Ninomiya K, Kuramoto H, *et al*. Phenylethanoid and phenylpropanoid glycosides with melanogenesis inhibitory activity from the flowers of *Narcissus tazetta* var. *chinensis* [J]. *J Nat Med*, 2016, 70(1): 89-101.

[9] 于洋, 高昊, 戴毅, 等. 栀子中的木脂素类成分研究 [J]. 中草药, 2010, 41(4): 509-514.

[10] 王威, 刘小红, 高华, 等. 东北铁线莲地上部位化学成分研究 [J]. 中草药, 2014, 45(17): 2440-2446.

[11] 任刚, 罗仉平, 黄慧莲, 等. 畲药半边风化学成分研究 [J]. 中药材, 2012, 35(1): 62-64.

[12] 李月婷, 庞道然, 朱枝祥, 等. 牡荆子的化学成分与生物活性研究 [J]. 中国中药杂志, 2016, 41(22): 4197-4203.

[13] 孙辉, 张晓琦, 蔡艳, 等. 救必应的化学成分研究 [J]. 林产化学与工业, 2009, 29(1): 111-114.

[14] 周文婷, 谢海辉. 溪黄草的苯丙素、大柱香波龙烷、生物碱和烷基糖苷类成分 [J]. 热带亚热带植物学报, 2018, 26(2): 185-190.

[15] Kouno I, Hashimoto M, Enjoji S, *et al*. Isolation of neoanisatin derivatives from the pericarps of *Illicium majus* with other constituents [J]. *Chem Pharm Bull*, 1991, 39(7): 1773-1778.

[16] 李慧娟, 王丽霞, 刘孟奇, 等. 披针叶茴香果实的化学成分研究 [J]. 中国药学杂志, 2014, 49(8): 636-639.

[17] 高凯, 汤海峰, 陆云阳, 等. 宁夏枸杞子乙酸乙酯部分的化学成分研究 [J]. 中南药学, 2014, 12(4): 324-327.

[18] Darwish F M M, Reinecke M G. Ecdysteroids and other constituents from *Sida spinosa* L [J]. *Phytochemistry*, 2003, 62(8): 1179-1184.

[19] Gopalakrishnan S, Subbarao G V, Nakahara K, *et al*. Nitrification Inhibitors from the root tissues of *Brachiaria humidicola*, a tropical grass [J]. *J Agric Food Chem*, 2007, 55(4): 1385-1388.

[20] Yang D, Xie H H, Yang B, *et al*. Two tetrahydroisoquinoline alkaloids from the fruit of *Averrhoa carambola* [J]. *Phytochem Lett*, 2014, 7: 217-220.

[21] 张雷红, 殷志琦, 叶文才, 等. 海金沙草化学成分的研究 [J]. 中国中药杂志, 2005, 30(19): 1522-1524.

[22] 戴忠, 王峰, 王钢力, 等. 穗花蛇菰的化学成分研究 [J]. 中国中药杂志, 2006, 31(21): 1798-1800.

[23] 刘杰, 李国强, 吴霞, 等. 连钱草的化学成分研究 [J]. 中国中药杂志, 2014, 39(4): 695-698.

[24] Ouyang M G, Chen P Q, Wang S B. Water-soluble phenylpropanoid constituents from aerial roots of *Ficus microcarpa* [J]. *Nat Prod Res*, 2007, 21(9): 769-774.

[25] Liu Y F, Shi G R, Wang X, *et al*. Nine new compounds from the whole plants of *Rehmannia chingii* [J]. *J Asian Nat Prod Res*, 2016, 18(6): 509-519.

[26] 王建霞, 郭洪伟, 田云刚, 等. 轮钟花果实化学成分的研究 [J]. 中成药, 2020, 42(7): 1795-1798.

[27] Zheng H C, Lu Y, Chen D F. Anticomplement compounds from *Polygonum chinense* [J]. *Bioorg Med Chem Lett*, 2018, 28(9): 1495-1500.

[28] 刘丽娟, 周小平, 王广树, 等. 分蘖葱头中含氮化合物的分离与鉴定 [J]. 中国药物化学杂志, 2009, 19(5): 368-370.

[29] 杨炳友, 夏永刚, 陈东, 等. 洋金花的化学成分 [J]. 中国天然药物, 2010, 8(6): 429-432.

[30] 王海垠, 丁林芬, 吴兴德, 等. 大黄藤化学成分研究 [J]. 昆明医科大学学报, 2014, 35(1): 1-4.

[31] 蒋飘飘, 匡南, 曾诚坤, 等. 杜仲皮中一个新的五元环内酯类化合物 [J]. 药学学报, 2026, 61(4): 1321-1326.

[32] 陈华, 阿吉艾克拜尔.艾萨, 李援朝. 短叶假木贼中化学成分的分离和结构鉴定 [J]. 天然产物研究与开发, 2006, 18(6): 958-961.

[33] 李汉芬, 秦诗慧, 周泽琴, 等. 大苞鞘石斛酚类化学成分研究 [J]. 中草药, 2024, 55(3): 711-719.

[责任编辑 王文倩]