

本文引用: 蒋欣, 姚智健, 黄芊骞, 袁菲菲, 龚力民, 谢果珍, 李斌, 彭彩云. 鸡头黄精化学成分及其 α -葡萄糖苷酶抑制和抗氧化活性研究[J]. 湖南中医药大学学报, 2026, 46(7): 1397-1404.

鸡头黄精化学成分及其 α -葡萄糖苷酶抑制和抗氧化活性研究

蒋欣^{1,2,3}, 姚智健^{1,2,4}, 黄芊骞^{1,2}, 袁菲菲^{1,2,3}, 龚力民^{1,2}, 谢果珍^{1,2}, 李斌^{1,2}, 彭彩云^{1,2*}

1. 湖南中医药大学药学院, 湖南省中医药民族医药国际联合实验室, 湖南 长沙 410208; 2. 湖南中医药大学药学院, 湖南省天然药物资源与功能实验室, 湖南 长沙 410208; 3. 湖南中医药大学中医药科学院, 湖南 长沙 410208;

4. 长沙医学院药学院, 湖南 长沙 410219

[摘要] **目的** 研究鸡头黄精(*Polygonatum sibiricum* Red.)根茎的化学成分及其相关活性。**方法** 采用凝胶柱色谱、硅胶柱色谱、半制备高效液相色谱等技术进行分离和纯化, 根据其理化性质和波谱数据对得到的化合物进行结构鉴定。采用对硝基苯基- β -D-吡喃葡萄糖苷(PNPG)法、2,2'-联氮双(3-乙基苯并噻唑啉-6-磺酸)二铵盐(ABTS)试剂盒, 分别评价所得化合物的 α -葡萄糖苷酶抑制活性、抗氧化活性。**结果** 从鸡头黄精石油醚提取物和乙酸乙酯提取物中分离并鉴定得到 15 个化合物, 分别鉴定为 disporopsin(**1**)、5,7-二羟基-6,8-二甲氧基-3-(4'-羟基苄基)苯并二氢吡喃-4-酮(**2**)、5,7-二羟基-6-甲氧基-3-(4'-羟基苄基)苯并二氢吡喃-4-酮(**3**)、polygonatone H(**4**)、4'-demethyleucomin-7-O- β -D-glucopyranoside(**5**)、4-氨基肉桂酸(**6**)、对羟基苯甲酸(**7**)、6,7-二甲氧基-4-羟基-1-萘酸(**8**)、丁香脂素(**9**)、蔗糖(**10**)、3 β ,22 α -二羟基-7 β -甲氧基-24 β -乙基胆甾-5-烯(**11**)、豆甾-5-烯-3 β ,7 α -二醇(**12**)、 β -谷甾醇(**13**)、 β -胆甾酮(**14**)、24-乙基-5 α -胆甾-3 β ,5,6 β -三醇(**15**)。化合物 **1,4,5** 对 α -葡萄糖苷酶具有抑制活性, 其 IC_{50} 值分别为(23.47 $\pm$ 1.30)、(51.24 $\pm$ 2.41)、(83.74 $\pm$ 15.77) μ mol/L; 化合物 **1,2,4,8** 具有 ABTS 自由基清除能力, IC_{50} 值分别为(14.39 $\pm$ 1.77)、(23.76 $\pm$ 2.27)、(24.51 $\pm$ 2.49)、(11.57 $\pm$ 1.03) μ mol/L。**结论** 化合物 **2,4,6,8,9,11,15** 为首次从鸡头黄精中分离得到。化合物 **1~5** 为较少见的高异黄酮类化合物, 且该类化合物在 α -葡萄糖苷酶抑制、抗氧化方面具有潜在活性。

[关键词] 鸡头黄精; 高异黄酮; 化学成分; 分离鉴定; α -葡萄糖苷酶抑制活性; 抗氧化活性

[中图分类号] R284

[文献标志码] A

[文章编号] doi:10.3969/j.issn.1674-070X.2026.07.010

Chemical constituents of Jitou Huangjing (*Polygonatum sibiricum* Red.) and their α -glucosidase inhibitory and antioxidant activities

JIANG Xin^{1,2,3}, YAO Zhijian^{1,2,4}, HUANG Qianqian^{1,2}, YUAN Feifei^{1,2,3}, GONG Limin^{1,2}, XIE Guozhen^{1,2},
LI Bin^{1,2}, PENG Caiyun^{1,2*}

1. School of Pharmacy, Chinese Medicine and Ethnomedicine Innovation & Development International Laboratory, Hunan University of Chinese Medicine, Changsha, Hunan 410208, China; 2. School of Pharmacy, Hunan Province Laboratory of Natural Medicinal Resources and Functions, Hunan University of Chinese Medicine, Changsha, Hunan 410208, China; 3. Academy of Chinese Medicine Sciences, Hunan University of Chinese Medicine, Changsha, Hunan 410208, China; 4. College of Pharmacy, Changsha Medical University, Changsha, Hunan 410219, China

[Abstract] **Objective** To study the chemical constituents of the rhizomes of Jitou Huangjing (JTHJ, *Polygonatum sibiricum*

[收稿日期] 2026-03-20

[基金项目] 湖南省自然科学基金(部门联合)项目(2024JJ8237); 湖南省中药炮制技术传承基地开放基金项目(2025PZKF02); 湖南省中药粉体与创新药物研究省部共建国家重点实验室培育基地开放基金项目(25PTKF1026)。

[通信作者] * 彭彩云, 女, 教授, 硕士研究生导师, E-mail: caiyunpeng@hnuucm.edu.cn。

Red), and their associated biological activities. **Methods** Gel column chromatography, silica gel column chromatography, and semi-preparative high-performance liquid chromatography (HPLC) were used to isolate and purify the chemical constituents of JTHJ. The obtained compounds' structures were identified by physicochemical properties and spectral data. Their α -glucosidase inhibitory and antioxidant activities were evaluated by p-Nitrophenyl- β -D-glucopyranoside (PNPG) assay and 2, 2'-azino-bis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) diammonium salt (ABTS) assay kit, respectively. **Results** 15 compounds were isolated and identified from the petroleum ether and ethyl acetate extracts of JTHJ, namely disporopsin (**1**), 5, 7-dihydroxy-6, 8-dimethyl-3-(4'-hydroxybenzyl) chroman-4-one (**2**), 5, 7-dihydroxy-6-methyl-3-(4'-hydroxybenzyl) chroman-4-one (**3**), polygonatone H (**4**), 4'-demethylleucomin-7-O- β -D-glucopyranoside (**5**), 4-aminocinnamic acid (**6**), p-hydroxybenzoic acid (**7**), 6, 7-dimethoxy-4-hydroxy-1-naphthoic acid (**8**), syringaresinol (**9**), sucrose (**10**), 3 β , 22 α -dihydroxy-7 β -methoxy-24 β -ethyl-cholest-5-ene (**11**), stigmast-5-ene-3 β , 7 α -diol (**12**), β -sitosterol (**13**), β -sitostenone (**14**), 24-ethyl-5 α -cholestane-3 β , 5, 6 β -triol (**15**). Compounds **1**, **4**, **5** showed α -glucosidase inhibitory activity, with IC₅₀ values of (23.47 $\pm$ 1.30), (51.24 $\pm$ 2.41), (83.74 $\pm$ 15.77) μ mol/L, respectively. Compounds **1**, **2**, **4**, **8** exhibited ABTS radical scavenging activity, with IC₅₀ values of (14.39 $\pm$ 1.77), (23.76 $\pm$ 2.27), (24.51 $\pm$ 2.49), (11.57 $\pm$ 1.03) μ mol/L, respectively. **Conclusion** Compounds **2**, **4**, **6**, **8**, **9**, **11**, and **15** were isolated from JTHJ for the first time. Compounds **1**–**5** belong to the relatively rare class of homoisoflavonoids with potential α -glucosidase inhibitory and antioxidant activities.

[**Keywords**] Jitou Huangjing (*Polygonatum sibiricum* Red.); homoisoflavonoids; chemical constituents; isolation and identification; α -glucosidase inhibitory activity; antioxidant activity

鸡头黄精(*Polygonatum sibiricum* Red.)是天门冬科黄精属多年生草本植物,作为我国传统的药食同源植物之一,又有仙人余粮、鸡头参、笔管菜、老虎姜等别称^[1]。其主要分布于我国华北、西北、华东及华中地区,河北、山西、陕西、甘肃、安徽、河南等省份为主要产区。鸡头黄精的根茎入药历史悠久,具有补气养阴、健脾润肺、益肾填精等功效^[2]。民间常将其根茎加工成饮片、膏剂或直接煲汤食用,口感软糯香甜,具有滋补身体、增强免疫力的作用。

目前,已从鸡头黄精根茎中分离鉴定出近百种化学成分,按结构类型主要分为多糖类^[3]、甾体皂苷类^[4]、黄酮类^[5]、生物碱类^[6]、氨基酸类^[7]及挥发性成分^[8]等。其中,多糖、高异黄酮和甾体皂苷是鸡头黄精的主要活性成分,具有调节免疫功能、降血糖、降血脂、抗氧化、抗疲劳、保护神经细胞及改善骨质疏松等多种活性^[9-10]。

目前,鸡头黄精的研究多聚焦于多糖、皂苷粗提物的活性,针对石油醚、乙酸乙酯萃取部位的系统单体分离工作仍相对有限。基于上述研究现状,本研究以鸡头黄精干燥根茎为原料,对其乙醇浸膏的石油醚、乙酸乙酯萃取部位开展系统分离纯化与结构鉴定,同时对所得单体化合物开展体外 α -葡萄糖苷酶抑制活性、ABTS 自由基清除活性筛选工作。本研究可丰富鸡头黄精化学成分,明确特征性高异黄酮单体的降糖、抗氧化潜力,为鸡头黄精药食产品开发、活性先导化合物挖掘提供物质基础与实验依据。

1 材料

1.1 仪器

Bruker ascend 600 MHz 核磁共振光谱仪(德国 Bruker 公司);Agilent 1260 半制备型高效液相色谱仪、Agilent 1290/6740A 超高效液相色谱仪串联三重四级杆质谱(美国 Agilent 公司);N-1300 型旋转蒸发仪(日本东京理化器械株式会社);FD5-3 型冷冻干燥器(金西盟国际集团公司);DZ-2BCIV 型真空干燥箱(天津市泰斯特仪器有限公司);WFH-203B 型暗箱式紫外分析仪(杭州齐威仪器有限公司);ME204e 型电子分析天平(瑞士梅特勒-托利多国际有限公司);HAD-496 型微孔板检测仪(北京恒奥德仪器仪表有限公司);精密移液枪(艾本德生命科学公司);ST 8R 高速冷冻离心机、Lux 多功能酶标仪(赛默飞世尔科技公司)。

1.2 主要试剂

石油醚、乙酸乙酯、二氯甲烷(分析纯,上海泰坦科技股份有限公司);无水甲醇(分析纯,国药集团化学试剂有限公司);氯仿(分析纯,湖南汇虹试剂有限公司);甲醇、乙腈(色谱纯,德国默克生命科学技术有限公司);氘代试剂(色谱纯,美国剑桥同位素实验室);薄层色谱硅胶板(GF254,烟台江友硅胶开发有限公司);葡聚糖凝胶 Sephadex LH-20(500 g, 美国 GE Healthcare 有限公司);ABTS 自由基清除能力检测试剂盒(100 T/48 S,北京索莱宝科技有限公司); α -葡萄糖苷酶(S10050-100 U,上海源叶生

物科技有限公司);阿卡波糖 RT1185-500 mg、对硝基苯- α -D-吡喃葡萄糖苷 RM1107-1 g(上海瑞永生物科技有限公司);二甲基亚砜(DMSO)(D806645-500 mL,上海麦克林生化科技有限公司);磷酸盐缓冲液(思拓凡生物公司)。

1.3 药材

鸡头黄精药材于2020年1月采购于陕西省宝鸡市眉县,经湖南中医药大学中医药民族医药国际联合实验室王炜教授鉴定为天门冬科黄精属植物(*Polygonatum sibiricum* Red.)的根茎。药材标本(No. 20200112)现存放于湖南中医药大学中医药民族医药国际联合实验室。

2 方法

2.1 提取分离

干燥的鸡头黄精 37 kg,粉碎成粗粉,用95%乙醇渗漉提取3次,每次时长3 d;再用75%乙醇渗漉提取,每次时长3 d,合并全部渗漉液,减压浓缩、干燥后合并,得到总浸膏约10 kg。将总浸膏用水分散,依次用石油醚、乙酸乙酯和正丁醇各萃取3次。分别合并不同溶剂萃取液,减压浓缩,分别得到石油醚层(183 g)、乙酸乙酯层(85 g)、正丁醇层(800 g)。

石油醚萃取部位(183 g),经硅胶柱色谱,以石油醚-乙酸乙酯(1:0~0:1)梯度洗脱,得到19个组分(Fr. A~Fr. S)。Fr. G(16.7 g)经硅胶柱色谱,石油醚-乙酸乙酯(1:0~0:1)梯度洗脱,得到Fr. G.1~Fr. G.12。Fr. G.4(184.4 mg)经制备薄层色谱和Sephadex LH-20柱色谱,二氯甲烷-甲醇(1:1)等度洗脱,得到化合物2(5.1 mg)。

Fr. H.6(2.0 g)经Sephadex LH-20柱色谱分离,二氯甲烷-甲醇(1:1)等度洗脱,得到Fr. H.6.1~Fr. H.6.9,将Fr. H.6.5(669.1 mg)与Fr. H.6.6(75.9 mg)合并,经硅胶柱色谱,石油醚-乙酸乙酯(5:1~0:1)梯度洗脱,得到Fr. H.6.5.1~Fr. H.6.5.14。Fr. H.6.5.9(414.4 mg)经硅胶柱色谱,石油醚-乙酸乙酯-甲醇(25:1:0~3:2:0~0:0:1)梯度洗脱,得到Fr. H.6.5.9.1~Fr. H.6.5.9.14。Fr. H.6.5.9.3(65.1 mg)经Sephadex LH-20柱色谱,二氯甲烷-甲醇(1:1)等度洗脱,得到化合物12(10.1 mg)。Fr. H.6.8(76.4 mg)经制备薄层色谱和Sephadex LH-20柱色谱,二氯甲烷-甲醇(1:1)等度洗脱,得到化合物13(44.0 mg)。

Fr. I(1.1 g)经硅胶柱色谱分离,得到Fr. I.1~Fr. I.13。Fr. I.6(16.0 mg)经制备薄层色谱和Sephadex LH-20凝胶柱色谱,二氯甲烷-甲醇(1:1)等度洗脱,

得到化合物14(1.2 mg)。Fr. I.12(46.7 mg)经Sephadex LH-20凝胶柱色谱,二氯甲烷-甲醇(1:1)等度洗脱,得到化合物1(7.7 mg)。Fr. I.13(832.3 mg),经硅胶柱色谱分离,梯度洗脱,得到Fr. I.13.1~Fr. I.13.9;Fr. I.13.2经硅胶柱色谱,石油醚-乙酸乙酯-甲醇(6:1:0~0:1:0~0:0:1)梯度洗脱,得到化合物11(1.8 mg)。

Fr. P(1 432.0 mg)经Sephadex LH-20凝胶柱色谱,二氯甲烷-甲醇(1:1)等度洗脱,得到Fr. P.1~Fr. P.7。Fr. P.6(32.1 mg)经制备薄层色谱和Sephadex LH-20凝胶柱色谱,二氯甲烷-甲醇(1:1)等度洗脱,得到化合物15(3.6 mg)。

乙酸乙酯萃取部位(85 g),经大孔吸附树脂、硅胶柱色谱等方法初步分离,选取组分(Fr. T~Y)进行进一步分离,Fr. U经硅胶柱色谱,二氯甲烷-甲醇(1:0~0:1)梯度洗脱,得到Fr. U.1~Fr. U.5。Fr. U.5(4.1 g)经硅胶柱色谱,二氯甲烷-甲醇(1:0~0:1)梯度洗脱,得到Fr. U.5.1~Fr. U.5.9。Fr. U.5.6(30.8 mg)经半制备液相色谱(流动相40%甲醇-水,流速3.0 mL/min,检测波长210、254 nm)分离,得到化合物10(3.5 mg, $t_R=26.6$ min)。

Fr. V(16.2 g)经硅胶柱色谱,二氯甲烷-甲醇(1:0~0:1)梯度洗脱,得到Fr. V.1~Fr. V.9。Fr. V.2(3.5 g)经硅胶柱色谱,二氯甲烷-甲醇(1:0~0:1)梯度洗脱,得到Fr. V.2.1~Fr. V.2.9。Fr. V.2.4(222.7 mg)经Sephadex LH-20凝胶柱色谱,二氯甲烷-甲醇(1:1)等度洗脱,得到Fr. V.2.4.1~Fr. V.2.4.7。Fr. V.2.4.3,经半制备液相(流动相40%甲醇-水,流速3.0 mL/min,检测波长210、254 nm)分离,得到化合物9(3.1 mg, $t_R=13.6$ min)。Fr. V.7经硅胶柱色谱,二氯甲烷-甲醇(1:0~0:1)梯度洗脱,得到Fr. V.7.1~Fr. V.7.22。Fr. V.7.6经Sephadex LH-20柱色谱,二氯甲烷-甲醇(1:1)等度洗脱,得到化合物5(7.5 mg)。Fr. V.9经硅胶柱色谱,二氯甲烷-甲醇(1:0~0:1)梯度洗脱,得到Fr. V.9.1~Fr. V.9.16。Fr. V.9.16(64.8 mg)经Sephadex LH-20柱色谱,二氯甲烷-甲醇(1:1)等度洗脱,得到化合物4(3.1 mg)。

Fr. W(5.9 g)经硅胶柱色谱,二氯甲烷-甲醇(1:0~0:1)梯度洗脱,得到Fr. W.1~Fr. W.8。Fr. W.3(316.8 mg)经硅胶柱色谱,二氯甲烷-甲醇(1:0~0:1)梯度洗脱,得到Fr. W.3.1~Fr. W.3.13。Fr. W.3.6(142.6 mg)经半制备液相(流动相60%甲醇-水,流速3.0 mL/min,检测波长210、254 nm)分离,得到化合物3(3.5 mg, $t_R=33.1$ min)。Fr. W.3.9(75.6 mg)经

硅胶柱色谱,二氯甲烷-甲醇(1:0~0:1)梯度洗脱,得到化合物 **8**(7.2 mg)。Fr. W.4(681.7 mg)经硅胶柱色谱,二氯甲烷-甲醇(1:0~0:1)梯度洗脱,得到 Fr. W.4.1~Fr. W.4.15。Fr. W.4.5(123.6 mg)经 Sephadex LH-20 柱色谱,二氯甲烷-甲醇(1:1)等度洗脱,得到 Fr. W.4.5.1~Fr. W.4.5.5。Fr. W.4.5.3 经半制备液相(流动相 33% 甲醇-水,流速 3.0 mL/min,检测波长 210、254 nm)分离,得到化合物 **7**(5.5 mg, $t_R=12.2$ min)。

Fr. Y(9.7 g)经硅胶柱色谱,二氯甲烷-甲醇(1:0~0:1)梯度洗脱,得到 Fr. Y.1~Fr. Y.13。Fr. Y.8(1760.9 mg)经硅胶柱色谱,二氯甲烷-甲醇(1:0~0:1)梯度洗脱,得到 Fr. Y.8.1~Fr. Y.8.10。Fr. Y.8.7(216.1 mg)经 Sephadex LH-20 凝胶柱色谱,二氯甲烷-甲醇(1:1)等度洗脱,得到 Fr. Y.8.7.1~Fr. Y.8.7.9。Fr. Y.8.7.7(46.2 mg)经半制备液相(流动相 17% 甲醇-水,流速 3.0 mL/min,检测波长 210、254 nm)分离,得到化合物 **6**(1.3 mg, $t_R=23.2$ min)。

2.2 单体化合物活性检测

2.2.1 α -葡萄糖苷酶抑制活性研究 参照文献[11]报道方法,单体化合物采用 DMSO 溶解,以 pH 7.2~7.4 磷酸盐缓冲液(PBS)稀释,配制成 100、50、25、10、5 $\mu\text{mol/L}$ 浓度梯度;底物 PNPG 经 DMSO 溶解后用 PBS 稀释至 1 $\mu\text{mol/L}$; α -葡萄糖苷酶以 PBS 稀释为 0.5 U/mL;以阿卡波糖作为阳性对照。

在 96 孔板中设置 3 组反应孔:实验孔添加 50 μL PBS、50 μL 样品、50 μL α -葡萄糖苷酶;对照孔添加 100 μL PBS、50 μL α -葡萄糖苷酶;空白孔添加 100 μL PBS、50 μL 样品。每组设置平行复孔。将 96 孔板置于 37 $^{\circ}\text{C}$ 恒温水浴预孵育 10 min,每孔加入 50 μL PNPG 底物,37 $^{\circ}\text{C}$ 继续孵育 30 min,酶标仪于 410 nm 处测定各孔 OD 值,计算化合物酶抑制率,对高活性样品进一步测定 IC_{50} 。

2.2.2 抗氧化活性研究 参照文献[12]报道方法,采用 Solarbio 试剂盒进行 ABTS 自由基清除实验,维生素 C 作为阳性对照。先对试剂盒内各试剂预处理:试剂二加入 1 mL 蒸馏水充分溶解;试剂三、试剂四分别按比例稀释配制对应工作液;称取 5 mg 维生素 C 溶于 2.8 mL 提取液,配制成 10 mmol/L 阳性对照溶液;临用前按试剂一:试剂二:试剂三工作液为 76:5:4 混合配制 ABTS 工作液,室温避光保存并于 30 min 内完成检测。

待测单体以试剂盒提取液溶解并梯度稀释,96 孔板设置样品孔、对照孔、空白孔与阳性对照孔,各孔依次加入对应溶液混匀,室温避光静置 8 min,于

410 nm 波长处测定吸光度,每组设置平行复孔,根据浓度梯度拟合计算 IC_{50} 。

3 结果

3.1 化合物的结构鉴定

化合物 **1**:白色针晶,分子式 $\text{C}_{16}\text{H}_{14}\text{O}_6$,5% 香草醛-浓硫酸显色,薄层色谱(thin layer chromatography, TLC)斑点显玫红色,电喷雾离子化质谱(ESI-MS) m/z :301.8 $[\text{M}-\text{H}]^-$ 。 ^1H NMR(600 MHz, CD_3OD) δ_{H} :4.12(1H, dd, $J=7.7, 11.4$ Hz, H-2a), 4.23(1H, dd, $J=11.4, 4.4$ Hz, H-2b), 2.97(1H, m, H-3), 5.85(1H, d, $J=2.2$ Hz, H-6), 5.83(1H, d, $J=2.2$ Hz, H-8), 2.55(1H, dd, $J=13.7, 10.1$ Hz, H-9a), 3.15(1H, dd, $J=13.7, 4.9$ Hz, H-9b), 6.29(1H, dd, $J=8.2, 2.4$ Hz, H-5'), 6.23(1H, d, $J=2.4$ Hz, H-3'), 6.87(1H, d, $J=8.2$ Hz, H-6')。 ^{13}C NMR(150 MHz, CD_3OD) δ_{C} :70.7(C-2), 46.5(C-3), 200.2(C-4), 103.5(C-4a), 165.8(C-5), 96.9(C-6), 168.1(C-7), 95.7(C-8), 164.9(C-8a), 28.2(C-9), 116.8(C-1'), 157.6(C-2'), 103.5(C-3'), 158.3(C-4'), 107.4(C-5'), 132.6(C-6')。以上数据与文献[13]基本一致,故鉴定为 disporopsin。

化合物 **2**:淡黄色针晶,分子式 $\text{C}_{18}\text{H}_{18}\text{O}_5$,5% 香草醛-浓硫酸显色,TLC 斑点显玫红色,ESI-MS m/z :374.8 $[\text{M}+\text{CH}_3\text{COO}]^-$ 。 ^1H NMR(600 MHz, CDCl_3) δ_{H} :4.30(1H, dd, $J=11.4, 4.2$ Hz, H-2a), 4.14(1H, dd, $J=11.4, 7.0$ Hz, H-2b), 2.81(1H, m, H-3), 3.18(1H, dd, $J=13.9, 4.4$ Hz, H-9a), 2.71(1H, dd, $J=13.9, 10.5$ Hz, H-9b), 7.12(2H, d, $J=8.4$ Hz, H-2', H-6'), 6.81(2H, d, $J=8.4$ Hz, H-3', 5'), 2.09(3H, s, 6-CH₃), 2.05(3H, s, 8-CH₃)。 ^{13}C NMR(150 MHz, CDCl_3) δ_{C} :69.0(C-2), 47.0(C-3), 198.6(C-4), 102.4(C-4a), 159.7(C-5), 103.0(C-6), 160.4(C-7), 101.7(C-8), 157.9(C-8a), 32.1(C-9), 130.2(C-1'), 130.5(C-2', C-6'), 115.6(C-3', C-5'), 154.5(C-4'), 7.5(6-CH₃), 7.0(8-CH₃)。以上数据与文献[14]基本一致,故鉴定为 5,7-二羟基-6,8-二甲基-3-(4'-羟基苄基)苯并二氢吡喃-4-酮。

化合物 **3**:淡黄色针晶,分子式 $\text{C}_{17}\text{H}_{16}\text{O}_5$,5% 香草醛-浓硫酸显色,TLC 斑点显橙红色,ESI-MS m/z :335.9 $[\text{M}+\text{Cl}]^-$ 。 ^1H NMR(600 MHz, CD_3OD) δ_{H} :4.05(1H, dd, $J=11.4, 7.0$ Hz, H-2a), 4.20(1H, dd, $J=11.4, 4.2$ Hz, H-2b), 2.76(1H, m, H-3), 5.91(1H, s, H-8), 2.64(1H, dd, $J=13.9, 10.3$ Hz, H-9a), 3.09(1H, dd, $J=13.9, 4.6$ Hz, H-9b), 7.05(2H, d, $J=8.1$ Hz, H-2',

H-6'), 6.73 (2H, d, $J=8.1$ Hz, H-3', H-5'), 1.94 (3H, s, 6-CH₃)。 ¹³C NMR (150 MHz, CD₃OD) δ_c : 70.1 (C-2), 48.2 (C-3), 199.5 (C-4), 102.6 (C-4a), 162.9 (C-5), 105.3 (C-6), 166.1 (C-7), 94.9 (C-8), 162.2 (C-8a), 33.2 (C-9), 131.1 (C-1'), 130.3 (C-2', C-6'), 116.4 (C-3', C-5'), 157.2 (C-4') 7.0 (6-CH₃)。以上数据与文献[15]基本一致, 故鉴定为 5,7-二羟基-6-甲基-3-(4'-羟基苄基)苯并二氢吡喃-4-酮。

化合物 4: 浅黄色粉末, 分子式 C₁₈H₁₈O₆, 5% 香草醛-浓硫酸显色, TLC 斑点显橙红色, ESI-MS m/z : 390.8 [M+CH₃COO]⁻。 ¹H NMR (600 MHz, CD₃OD) δ_H : 4.08 (1H, d, $J=11.8$ Hz, H-2a), 4.22 (1H, d, $J=11.8$ Hz, H-2b), 2.95 (1H, m, H-3), 2.61 (1H, d, $J=13.8$ Hz, H-9a), 3.18 (1H, d, $J=13.7$ Hz, H-9b), 6.37 (1H, d, $J=2.5$ Hz, H-3'), 6.40 (1H, dd, $J=2.5, 6.2$ Hz, H-5'), 6.98 (1H, d, $J=8.1$ Hz, H-6'), 1.94 (3H, s, 6-CH₃), 3.75 (3H, s, 4'-OCH₃)。 ¹³C NMR (150 MHz, CD₃OD) δ_c : 70.5 (C-2), 46.7 (C-3), 199.9 (C-4), 102.4 (C-4a), 165.1 (C-5), 105.0 (C-6), 162.4 (C-7), 95.2 (C-8), 162.4 (C-8a), 28.3 (C-9), 118.2 (C-1'), 157.6 (C-2'), 102.4 (C-3'), 161.2 (C-4'), 105.6 (C-5'), 132.6 (C-6'), 6.6 (6-CH₃), 55.6 (4'-OCH₃)。以上数据与文献[16]基本一致, 故鉴定为 polygonatone H。

化合物 5: 黄色粉末, 分子式 C₂₂H₂₂O₁₀, 5% 香草醛-浓硫酸显色, TLC 斑点显玫红色, ESI-MS m/z : 469.8 [M+Na]⁺。 ¹H NMR (600 MHz, CD₃OD) δ_H : 5.37 (2H, br. s, H-2), 6.22 (1H, d, $J=2.3$ Hz, H-6), 6.17 (1H, d, $J=2.3$ Hz, H-8), 7.79 (1H, br. s, H-9), 7.29 (2H, d, $J=8.6$ Hz, H-2', H-6'), 6.91 (2H, d, $J=8.6$ Hz, H-3', H-5'), 5.00 (1H, d, $J=7.3$ Hz, H-1''), 3.46 (1H, m, H-2''), 3.40 (1H, m, H-3''), 3.42 (1H, m, H-4''), 3.48 (1H, m, H-5''), 3.72 (2H, m, H-6'')。 ¹³C NMR (150 MHz, CD₃OD) δ_c : 68.8 (C-2), 128.0 (C-3), 186.4 (C-4), 105.1 (C-4a), 165.8 (C-5), 98.2 (C-6), 166.9 (C-7), 96.7 (C-8), 163.6 (C-8a), 138.8 (C-9), 126.9 (C-1'), 133.8 (C-2', C-6'), 116.8 (C-3', C-5'), 160.9 (C-4'), 101.2 (C-1''), 74.7 (C-2''), 77.8 (C-3''), 71.1 (C-4''), 78.3 (C-5''), 62.3 (C-6'')。以上数据与文献[17]基本一致, 故鉴定为 4'-demethylleucomin-7-O- β -D-glucopyranoside。

化合物 6: 白色晶体, 分子式 C₉H₉NO₂, 5% 香草醛-浓硫酸显色, TLC 斑点显蓝紫色, ESI-MS m/z : 162.0 [M-H]⁻。 ¹H NMR (600 MHz, CD₃OD) δ_H : 6.82 (2H, d, $J=8.6$ Hz, H-2, 6), 7.44 (2H, d, $J=8.6$ Hz, H-

3, 5), 7.49 (1H, d, $J=15.8$ Hz, H-7), 6.47 (1H, d, $J=15.8$ Hz, H-8)。 ¹³C NMR (150 MHz, CD₃OD) δ_c : 160.7 (C-1), 116.7 (C-2, C-6), 130.7 (C-3, C-5), 127.6 (C-4), 142.9 (C-7), 117.8 (C-8), 171.6 (C-9)。以上数据与文献[18]基本一致, 故鉴定为 4-氨基肉桂酸。

化合物 7: 无色针晶, 分子式 C₇H₆O₃, 5% 香草醛-浓硫酸显色, TLC 斑点显蓝色, ESI-MS m/z : 139.0 [M+H]⁺。 ¹H NMR (600 MHz, CD₃OD) δ_H : 7.89 (2H, d, $J=8.7$ Hz, H-2, 6), 6.82 (2H, d, $J=8.7$ Hz, H-3, 5)。 ¹³C NMR (150 MHz, CD₃OD) δ_c : 123.6 (C-1), 132.9 (C-2, C-6), 115.9 (C-3, C-5), 163.1 (C-4), 171.0 (C=O)。以上数据与文献[19]基本一致, 故鉴定为对羟基苯甲酸。

化合物 8: 无色针晶, 分子式 C₁₃H₁₂O₅, 5% 香草醛-浓硫酸显色, TLC 斑点显蓝色, ESI-MS m/z : 293.8 [M+COOH]⁺。 ¹H NMR (600 MHz, CD₃OD) δ_H : 7.58 (1H, m, H-2), 6.85 (1H, d, $J=8.7$ Hz, H-3), 7.36 (1H, s, H-5), 7.56 (1H, s, H-8), 3.91 (3H, s, 6-OCH₃), 3.90 (3H, s, 7-OCH₃)。 ¹³C NMR (150 MHz, CD₃OD) δ_c : 141.5 (C-1), 125.2 (C-2), 115.8 (C-3), 152.5 (C-4), 123.5 (C-4a), 108.3 (C-5), 148.8 (C-6), 148.6 (C-7), 113.8 (C-8), 122.5 (C-8a), 56.4 (6-OCH₃), 56.8 (7-OCH₃), 170.5 (C=O)。以上数据与文献[20]基本一致, 故鉴定为 6,7-二甲氧基-4-羟基-1-萘酸。

化合物 9: 无色方晶, 分子式 C₂₂H₂₆O₈, 5% 香草醛-浓硫酸显色, TLC 斑点显黄色, ESI-MS m/z : 463.7 [M+COOH]⁻。 ¹H NMR (600 MHz, CD₃OD) δ_H : 6.66 (4H, s, H-2, H-2', H-6, H-6'), 3.84 (3, 5, 3', 5'-OCH₃), 4.72 (2H, d, $J=4.0$ Hz, H-7, 9'), 3.14 (2H, q, $J=4.0$ Hz, H-8, H-8'), 3.88 (2H, dd, $J=9.1, 3.4$ Hz, H-9a, H-9'a), 4.27 (2H, dd, $J=9.1, 6.8$ Hz, H-9b, 9'b)。 ¹³C NMR (150 MHz, CD₃OD) δ_c : 133.1 (C-1, 1'), 104.5 (C-2, C-6, C-2', C-6'), 148.6 (C-3, 3', 5, 5'), 136.2 (C-4, C-4'), 87.6 (C-7, 7'), 55.5 (C-8, C-8'), 72.8 (C-9, C-9'), 56.8 (3, 5, 3', 5'-OCH₃)。以上数据与文献[21]基本一致, 故鉴定为丁香脂素。

化合物 10: 白色粉末, 分子式 C₁₂H₂₂O₁₁, 5% 香草醛-浓硫酸显色, TLC 斑点显黄色, ESI-MS m/z : 374.9 [M+Cl]⁻。 ¹H NMR (600 MHz, CD₃OD) δ_H : 3.65 (1H, m, H-1a), 3.66 (1H, m, H-1b), 4.10 (1H, m, H-3), 4.01 (1H, m, H-4), 3.86 (1H, m, H-5), 3.53 (1H, m, H-6), 5.10 (1H, d, $J=3.7$ Hz, H-1'), 3.66 (1H, m, H-2'), 3.83 (1H, m, H-3'), 3.72 (1H, m, H-4'), 4.01 (1H, m, H-5'), 3.70 (1H, m, H-6')。 ¹³C NMR (150

MHz, CD₃OD) δ_c : 64.4 (C-1), 103.2 (C-2), 76.8 (C-3), 77.5 (C-4), 83.7 (C-5), 64.5 (C-6), 65.9 (C-1'), 99.2 (C-2'), 69.4 (C-3'), 71.8 (C-4'), 71.3 (C-5'), 64.5 (C-6'). 以上数据与文献[22]基本一致, 故鉴定为蔗糖。

化合物 11: 无色针晶, 分子式 C₃₀H₅₂O₂, 5% 香草醛-浓硫酸显色, TLC 斑点显蓝色, ESI-MS m/z : 526.7 [M+Br]⁻。¹H NMR (600 MHz, CD₃OD) δ_H : 3.45 (1H, m, H-3), 5.77 (1H, dd, $J=5.1, 1.7$ Hz, H-6), 3.34 (1H, br. s, H-7), 0.70 (3H, s, H-18), 1.00 (3H, s, H-19), 0.95 (3H, d, $J=6.5$ Hz, H-21), 0.83 (3H, d, $J=6.7$ Hz, H-26), 0.85 (3H, d, $J=6.8$ Hz, H-27), 0.88 (3H, d, $J=7.2$ Hz, H-29), 3.27 (3H, s, 7-OCH₃)。 ¹³C NMR (150 MHz, CD₃OD) δ_c : 38.1 (C-1), 32.1 (C-2), 72.1 (C-3), 42.7 (C-4), 148.0 (C-5), 121.5 (C-6), 75.3 (C-7), 38.5 (C-8), 44.2 (C-9), 38.5 (C-10), 22.0 (C-11), 40.6 (C-12), 43.1 (C-13), 50.4 (C-14), 25.2 (C-15), 29.4 (C-16), 56.9 (C-17), 11.9 (C-18), 18.8 (C-19), 37.5 (C-20), 19.4 (C-21), 35.1 (C-22), 27.1 (C-23), 47.3 (C-24), 30.3 (C-25), 19.4 (C-26), 20.2 (C-27), 24.1 (C-28), 12.4 (C-29), 57.3 (7-OCH₃)。以上数据与文献[23]基本一致, 故鉴定为 3 β , 22 α -二羟基-7 β -甲氧基-24 β -乙基胆甾-5-烯。

化合物 12: 白色固体, 分子式 C₂₉H₅₀O₂, 5% 香草醛-浓硫酸显色, TLC 斑点显蓝色, ESI-MS m/z : 469.2 [M+K]⁺。 ¹H NMR (600 MHz, CD₃OD) δ_H : 3.48 (1H, m, H-3), 5.56 (1H, dd, $J=5.3, 1.8$ Hz, H-6), 3.78 (1H, br. s, H-7), 0.74 (3H, s, H-18), 1.02 (3H, s, H-19), 0.98 (3H, d, $J=6.6$ Hz, H-21), 0.88 (3H, d, $J=6.3$ Hz, H-26), 0.86 (3H, d, $J=6.8$ Hz, H-27), 0.89 (3H, d, $J=7.1$ Hz, H-29)。 ¹³C NMR (150 MHz, CD₃OD) δ_c : 38.1 (C-1), 32.1 (C-2), 72.0 (C-3), 42.9 (C-4), 146.6 (C-5), 125.0 (C-6), 65.9 (C-7), 39.0 (C-8), 43.2 (C-9), 38.5 (C-10), 21.8 (C-11), 40.7 (C-12), 43.4 (C-13), 50.7 (C-14), 25.1 (C-15), 30.3 (C-16), 57.3 (C-17), 12.1 (C-18), 18.5 (C-19), 37.5 (C-20), 19.4 (C-21), 35.1 (C-22), 29.5 (C-23), 47.3 (C-24), 29.5 (C-25), 19.4 (C-26), 20.2 (C-27), 24.1 (C-28), 12.1 (C-29)。以上数据与文献[24]基本一致, 故鉴定为豆甾-5-烯-3 β , 7 α -二醇。

化合物 13: 无色针晶 (乙醇), 与标准品混合熔点不下降。经 3 种不同展开剂 (石油醚: 乙酸乙酯=8: 2; 丙酮: 氯仿=10: 1; 正己烷: 乙酸乙酯=7: 3) 展开检视

TLC 检测斑点与已知 β -谷甾醇的对照品对比一致, 故鉴定该化合物为 β -谷甾醇。

化合物 14: 白色固体, 分子式 C₂₉H₄₈O, 5% 香草醛-浓硫酸显色, TLC 斑点显蓝色, ESI-MS m/z : 490.8 [M+Br]⁻。 ¹H NMR (600 MHz, CDCl₃) δ_H : 5.73 (1H, s, H-4), 0.71 (3H, s, H-18), 1.18 (3H, s, H-19), 0.92 (3H, d, $J=6.6$ Hz, H-21), 0.83 (3H, d, $J=6.2$ Hz, H-26), 0.82 (3H, d, $J=6.6$ Hz, H-27), 0.84 (3H, d, $J=7.1$ Hz, H-29)。 ¹³C NMR (150 MHz, CDCl₃) δ_c : 35.7 (C-1), 32.2 (C-2), 200.0 (C-3), 123.9 (C-4), 172.0 (C-5), 33.1 (C-6), 34.0 (C-7), 35.8 (C-8), 53.9 (C-9), 38.7 (C-10), 21.2 (C-11), 39.7 (C-12), 42.5 (C-13), 56.1 (C-14), 24.3 (C-15), 29.2 (C-16), 56.0 (C-17), 12.1 (C-18), 17.5 (C-19), 36.3 (C-20), 18.8 (C-21), 34.1 (C-22), 29.9 (C-23), 45.9 (C-24), 26.1 (C-25), 19.1 (C-26), 20.0 (C-27), 23.2 (C-28), 12.1 (C-29)。以上数据与文献[25]基本一致, 故鉴定为 β -胆甾酮。

化合物 15: 白色固体, 分子式 C₂₉H₅₂O₃, 5% 香草醛-浓硫酸显色, TLC 斑点显蓝色, ESI-MS m/z : 447.7 [M+H]⁺。 ¹H NMR (600 MHz, Pyridine-*d*₅) δ_H : 4.88 (1H, m, H-3), 4.18 (1H, br. s, H-6), 0.76 (3H, s, H-18), 1.67 (3H, s, H-19), 1.01 (3H, d, $J=6.5$ Hz, H-21), 0.88 (3H, d, $J=6.7$ Hz, H-26), 0.86 (3H, d, $J=6.9$ Hz, H-27), 0.89 (3H, d, $J=7.4$ Hz, H-29)。 ¹³C NMR (150 MHz, Pyridine-*d*₅) δ_c : 32.4 (C-1), 33.7 (C-2), 67.8 (C-3), 43.3 (C-4), 76.3 (C-5), 76.7 (C-6), 36.1 (C-7), 31.6 (C-8), 46.3 (C-9), 39.6 (C-10), 22.2 (C-11), 41.1 (C-12), 43.5 (C-13), 57.0 (C-14), 25.0 (C-15), 29.1 (C-16), 56.9 (C-17), 12.5 (C-18), 17.6 (C-19), 36.9 (C-20), 19.4 (C-21), 34.6 (C-22), 26.9 (C-23), 46.5 (C-24), 29.8 (C-25), 19.6 (C-26), 20.4 (C-27), 23.8 (C-28), 12.8 (C-29)。以上数据与文献[26]基本一致, 故鉴定为 24-乙基-5 α -胆甾-3 β , 5, 6 β -三醇。

化合物 1~15 的化学结构详见图 1。

3.2 单体化合物的体外活性研究

3.2.1 α -葡萄糖苷酶抑制活性研究 本实验以阿卡波糖为阳性对照, 测得其 IC₅₀ 为 (0.027 $\pm$ 0.002 8) μ mol/L。活性筛选结果显示, 黄酮类化合物 1~5 表现出不同程度的 α -葡萄糖苷酶抑制活性, 进一步对以上单体化合物进行 IC₅₀ 值测定, 化合物 1、4、5 的 IC₅₀ 值分别为 (23.47 $\pm$ 1.30)、(51.24 $\pm$ 2.41)、

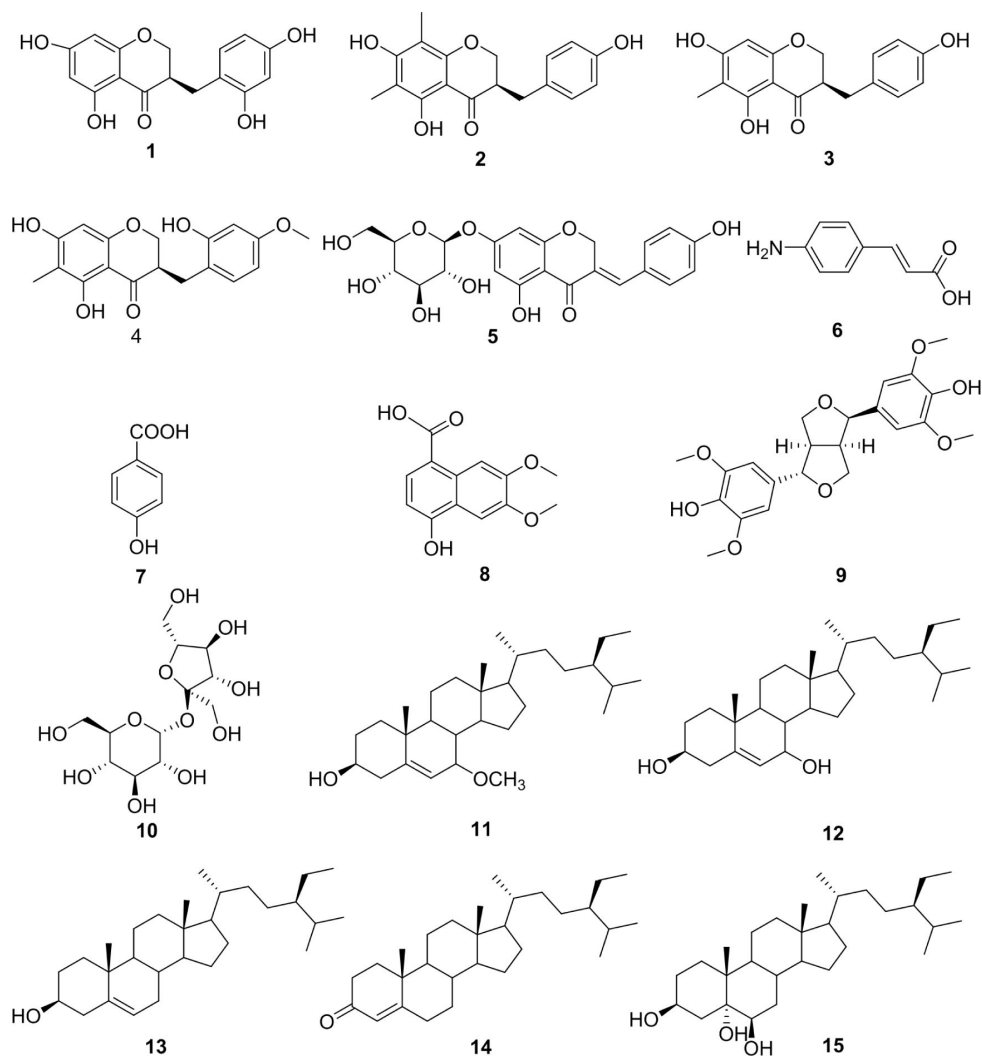


图 1 化合物 1~15 的化学结构

Fig.1 Chemical structures of compounds 1~15

(83.74 ± 15.77) $\mu\text{mol/L}$, 化合物 2 和 3 的 IC_{50} 值均大于 100 $\mu\text{mol/L}$ 。

3.2.2 抗氧化活性 本实验以维生素 C 为阳性对照, 测得其 IC_{50} 值为 (24.50 ± 1.27) $\mu\text{mol/L}$ 。结果显示, 总提取物、石油醚部位、乙酸乙酯部位、正丁醇部位的 IC_{50} 值分别为 (34.71 ± 4.31)、(32.79 ± 4.62)、(43.82 ± 2.04)、(40.15 ± 1.87) $\mu\text{g/mL}$ 。化合物 1、2、4、8 的 ABTS 自由基清除能力分别为 (14.39 ± 1.77)、(23.76 ± 2.27)、(24.51 ± 2.49)、(11.57 ± 1.03) $\mu\text{mol/L}$ 。

4 讨论

黄精作为药食同源中常用中药材, 现有研究多围绕黄精多糖、甾体皂苷展开, 对这两类成分的提取纯化、药理活性及作用机制均有较为充分的探讨; 现有文献虽已报道黄精属植物中存在特征高异黄酮类成分, 但相关研究仍存在一定局限^[27], 针对鸡头黄精

石油醚、乙酸乙酯萃取部位的研究相对有限, 基于上述研究现状, 本研究对鸡头黄精根茎乙醇提取物的石油醚、乙酸乙酯萃取部位进行分离纯化, 综合运用凝胶柱色谱、硅胶柱色谱、半制备高效液相色谱等色谱分离技术, 结合理化性质与波谱数据鉴定, 共得到 15 个单体化合物。其中, 化合物 2、4、6、8、9、11、15 为首次从鸡头黄精中分离得到, 化合物 1~5 为黄精属特征性高异黄酮类化合物。本研究结果丰富了鸡头黄精的化学成分研究, 为其活性物质基础探究提供了一定的化学依据。

现代药理研究已证实, 鸡头黄精根茎具有降糖、抗氧化、免疫调节等多种活性, 与古籍记载“补气养阴、健脾润肺”的传统功效相呼应^[28]。本研究选取 α -葡萄糖苷酶抑制、ABTS 自由基清除两个体外模型评价单体活性, 活性结果显示, 5 个高异黄酮单体均呈现不同程度且较好的降糖与抗氧化潜力, 其中化

合物 **1** 同时具备最优 α -葡萄糖苷酶抑制活性与最强自由基清除能力, 化合物 **4** 活性次之, 化合物 **2**、**3** 降糖活性较弱。甾体、糖类单体未表现出明显的 α -葡萄糖苷酶抑制效果。

综上, 本研究丰富了鸡头黄精石油醚、乙酸乙酯部位的化学成分, 初步验证了高异黄酮类成分可能为鸡头黄精体外降糖、抗氧化的主要活性组分之一, 可为鸡头黄精相关功能性食品、中药制剂研发及活性先导化合物筛选提供基础实验依据, 也为后续深度开发鸡头黄精药食同源资源提供参考思路。

参考文献

- [1] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志: 第十五卷[M]. 北京: 科学出版社, 1978: 52.
- [2] 国家中医药管理局《中华本草》编委会. 中华本草[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1999: 142-148.
- [3] 陶梦婷, 李丽霞, 王怀莹, 等. 黄精、多花黄精、滇黄精的多糖组分及其抗炎、抗氧化作用比较[J]. 中成药, 2023, 45(4): 1367-1372.
- [4] 翟玉凤, 丁兰, 余叶敏, 等. 黄精皂苷的化学成分、生物合成及药理作用研究进展[J]. 中国农学通报, 2024, 40(29): 21-30.
- [5] Ye X P, Hu Y Y, Chen Y X, et al. Flavonoids from the genus *Polygonatum*: Biological activities and biosynthesis mechanism[J]. *Frontiers in Nutrition*, 2025, 12: 1574182.
- [6] Pan Z B, Cheng W Q, Liu Z B, et al. Comparative study of the phytochemical profiles of the rhizomes of cultivated and wild-grown *Polygonatum sibiricum*[J]. *Separations*, 2022, 9(12): 398.
- [7] 李安琳, 李文竞, 吴望, 等. 不同黄精根茎中黄酮、氨基酸和酚酸类物质成分的系统比较[J]. 应用与环境生物学报, 2024(2): 353-359.
- [8] 吴丽群, 林菁, 张增弟. 不同产地黄精中挥发性成分分析与比较[J]. 药学研究, 2016, 35(12): 693-696, 711.
- [9] Wang S Q, Li G, Zhang X F, et al. Structural characterization and antioxidant activity of *Polygonatum sibiricum* polysaccharides[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2022, 291: 119524.
- [10] Tang C, Yu Y M, Qi Q L, et al. Steroidal saponins from the rhizome of *Polygonatum sibiricum*[J]. *Journal of Asian Natural Products Research*, 2019, 21(3): 197-206.
- [11] Omar R, Li L Y, Yuan T, et al. α -Glucosidase inhibitory hydrolyzable tannins from *Eugenia jambolana* seeds[J]. *Journal of Natural Products*, 2012, 75(8): 1505-1509.
- [12] CUI C Y, MEI L, WANG D Y, et al. A self-stabilized and water-responsive deliverable coenzyme-based polymer binary elastomer adhesive patch for treating oral ulcer[J]. *Nature Communications*, 2023, 14(1): 7707.
- [13] Nguyen A T, Fontaine J, Malonne H, et al. Homoisoflavanones from *Disporopsis Aspera*[J]. *Phytochemistry*, 2006, 67(19): 2159-2163.
- [14] 王冬梅, 张京芳, 李登武. 秦岭地区玉竹根茎的高异黄酮类化学成分[J]. 林业科学, 2008, 44(9): 125-129.
- [15] Zhao J W, Chen D S, Deng C S, et al. Evaluation of anti-inflammatory activity of compounds isolated from the rhizome of *Ophiopogon japonicus*[J]. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, 2017, 17(1): 7.
- [16] Wan J, Mei G Y, Ma J X, et al. C-methylated homoisoflavanones from the rhizomes of *Polygonatum cyrtoneura* and their chemotaxonomic significance[J]. *Biochemical Systematics and Ecology*, 2024, 112: 104773.
- [17] Zhang H, Yang F, Qi J, et al. Homoisoflavonoids from the fibrous roots of *Polygonatum odoratum* with glucose uptake-stimulatory activity in 3T3-L1 adipocytes[J]. *Journal of Natural Products*, 2010, 73(4): 548-552.
- [18] Moustafa A M Y. Phytochemical Investigation and Biological Evaluation of *Schinus terebinthifolius* Amal M. Youssef Moustafa, "Simeon F. Kouam," Aisha Kulsoom," Asma Ejaz," Shamsheer Ali," Shazia Anjum and" M. Iqbal Choudhary" Department of Chemistry, Faculty of Science, Suez Canal University[J]. *Research Journal of Phytochemistry*, 2007, 1(1): 1-11.
- [19] 李云秋, 柴兴云, 孙见凡, 等. 紫稍花化学成分研究[J]. 中药材, 2010, 33(1): 60-61.
- [20] 张广求, 尤慧梅, 赵佳文, 等. 柳叶五层龙中的 1 个新的木栓烷型三萜[J]. 中草药, 2019, 50(18): 4266-4271.
- [21] 侯萍, 任晨阳, 黄艳, 等. 红叶野桐叶中的木脂素类化合物[J]. 广西植物, 2024, 44(6): 1151-1158.
- [22] 宋兆辉, 王保德, 巴杭, 等. 新疆芍药化学成分的研究[J]. 中国中药杂志, 2004, 29(8): 748-751.
- [23] Pettit G R, Numata A, Cragg G M, et al. Isolation and structures of schleicherastatins 1-7 and schleicheols 1 and 2 from the teak forest medicinal tree *Schleichera oleosa*[J]. *Journal of Natural Products*, 2000, 63(1): 72-78.
- [24] Chumkaew P, Kato S, Chantapromma K. New cytotoxic steroids from the fruits of *Syzygium siamense*[J]. *Journal of Asian Natural Products Research*, 2010, 12(5): 424-428.
- [25] Li W H, Chang S T, Chang S C, et al. Isolation of antibacterial diterpenoids from *Cryptomeria japonica* bark[J]. *Natural Product Research*, 2008, 22(12): 1085-1093.
- [26] 刘青, 刘珍伶, 田瑄. 羽裂蟹甲草中的甾醇类化合物[J]. 中国中药杂志, 2008, 33(9): 1035-1038.
- [27] 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.
- [28] 陈宇, 周芸湄, 李丹, 等. 黄精的现代药理作用研究进展[J]. 中药材, 2021, 44(1): 240-244.

(本文编辑 苏 维)