

滇黄精不同组织部位中药用成分比较及黄酮类成分网络药理学研究

肖惠妹¹, 马 羽¹, 胡云棵¹, 羊雨婷¹, 易 涵¹, 梅馨月¹, 陆丕健¹, 吴 望^{1,2},
李 川¹, 刘 蓉^{1,2*}

(1. 宜宾学院农林与食品工程学部, 四川 宜宾 644000; 2. 固态发酵资源利用四川省重点实验室, 四川
宜宾 644000)

摘要: 目的 比较滇黄精主根、须根、茎、叶、果皮、种子中总皂苷、总多糖、总黄酮含量, 并对黄酮类成分进行网络药理学研究。方法 香草醛-高氯酸显色法测定总皂苷含量, 葡萄糖-硫酸法测定总多糖含量, 铝离子比色法测定总黄酮含量。LC-MS/MS 法对黄酮类成分进行代谢组学、积累模式分析, 网络药理学考察其相关靶点。结果 总黄酮、总皂苷含量分别为 0.301~2.338 mg/g、36.7~1636.5 μg/g, 均在主根中最高, 叶中次之; 总多糖含量为 0.067%~12.456%, 在主根中最高, 果皮中次之。共检测到 485 种黄酮类成分, 包括 11 个类型, 其中黄酮醇、二氢黄酮和二氢黄酮醇在果实(果皮+种子)中积累最多, 黄烷醇和黄酮在主根、叶中积累最多, 异黄酮和花青素在叶中积累最多, 查尔酮和其他类型在茎中积累最多。该类成分在药材不同部位的积累模式均存在明显偏好性, 而且与关键黄酮类成分相关的靶点和疾病也有差异。结论 本实验揭示了滇黄精不同组织部位中药用成分含量及类黄酮积累差异, 可为更好地开发利用该药材提供参考依据。

关键词: 滇黄精; 组织部位; 药用成分; 黄酮; 网络药理学

中图分类号: R283

文献标志码: B

文章编号: 1001-1528(2025)04-1370-05

doi:10.3969/j.issn.1001-1528.2025.04.051

黄精是我国传统的药用植物资源, 其味甘, 性平, 无毒, 入脾、肺、肾经, 2020 年版《中国药典》记载其基源为黄精 *Polygonatum sibiricum* Red.、滇黄精 *Polygonatum kingianum* Coll. et Hemsl. 或多花黄精 *Polygonatum cyrtoneurum* Hua 的干燥根茎, 其化学成分丰富, 药理活性广泛, 在提高免疫力、减缓衰老及治疗糖尿病、动脉粥样硬化、肿瘤等疾病方面都具有开发价值。其中, 滇黄精广泛分布于我国南部地区, 生长在海拔 2 000~2 500 m 以上的森林中^[1], 多糖、皂苷、类黄酮是该药材主要活性成分, 兼具药食两用价值^[2]。

近年来, 关于黄精化学成分的研究主要集中在黄精和多花黄精, 鲜有涉及滇黄精^[3], 并且总黄酮含量在黄精不同组织部位(如根、茎、叶、花、果皮等)中也存在显著差异, 其中根茎为其主要积累部位^[4]。然而, 目前大多数相关研究都集中在黄精根茎部位中活性成分的分离和鉴定, 对其不同组织部位活性成分积累模式的报道屈指可数。为了解滇黄精除根茎以外还有哪些组织部位也具有较高含量的药用成分可利用, 不同组织部位药用成分含量有何差异及以何种积累模式存在, 本实验比较该药材主根、须根、茎、叶、果皮、种子中总皂苷、总多糖、总黄酮含量, 并对黄酮类成分进行网络药理学研究, 以期为更好地对其开发利用提供参考依据。

1 材料

1.1 药材 5 年生滇黄精采自云南省文山市(经度 104.24°, 纬度 23.37°), 于 2023 年 4 月、5 月选取无病虫害者, 洗净后分为主根、须根、果皮、种子、叶、茎, 在 60 °C 下烘干至恒重, 粉碎, 过 30~50 目筛, 计算折干率后在 4 °C 下保存。

1.2 仪器 T6 新世纪型紫外可见分光光度计(北京普析通用仪器有限责任公司); 电热鼓风干燥箱(上海一恒科学仪器有限公司); YLS16A 烘干法水分测定仪(上海天美天平仪器有限公司); JYD-650L 超声波细胞粉碎机(上海之信仪器有限公司); HH-6 数显恒温水浴锅(上海高致精密有限公司); 电子天平(北京赛多利斯仪器系统有限公司); 超纯水机(杭州亿捷科技有限公司); SCAA-104 有机相尼龙针式滤器(绿色)(13 mm×0.22 μm, 上海安谱实验科技股份有限公司); Sciex QTRAP 6500 液质联用仪(美国 Applied Biosystems 公司); CBM30A 超高效液相色谱仪(日本 Shimadzu 公司)。

1.3 试剂 植物类黄酮含量检测试剂盒(北京索莱宝科技有限公司); 总皂苷含量检测试剂盒(上海麦克林生化科技有限公司)。无水葡萄糖对照品(西陇科学股份有限公司)。乙醇、蒸馏水、苯酚、氢氧化钠、亚硫酸钠、酒石酸钾钠、3, 5-二硝基水杨酸、盐酸、苯酚。

收稿日期: 2024-01-08

基金项目: 四川省自然科学基金(2023NSFSC1268); 宜宾学院高层次人才“启航”计划项目(2022QH07)

作者简介: 肖惠妹(1999—), 女(彝族), 研究方向为药用植物学。E-mail: xhmhxhm199988@qq.com

*通信作者: 刘蓉(1991—), 女, 博士, 讲师, 研究方向为药用植物学。E-mail: liurong@yibinu.edu.cn

2 方法

2.1 总皂苷含量测定 皂苷在强氧化性酸下脱氢，氧化后与香草醛加成，形成深红色化合物，在589 nm波长处有特征性吸收峰。因此，本实验采用香草醛-高氯酸显色法，以人参皂苷为对照品绘制标准曲线，计算总皂苷含量。

2.2 折干率、总多糖含量测定 取药材不同组织部位，置于105℃恒温鼓风干燥箱中杀青30 min，在60℃下烘干至恒温，称定质量，计算折干率。将无水葡萄糖对照品置于105℃恒温鼓风干燥箱中干燥至恒重，称取33 mg，溶解并稀释至100 mL，分别量取0.1、0.2、0.3、0.4、0.5、0.6 mL，置于10 mL具塞刻度试管中，加水至2.0 mL，摇匀，冰水浴中缓液滴加0.2%蒽酮-硫酸溶液至刻度，混匀，放冷后立即置于冰水浴中冷却10 min，在582 nm波长处测定吸光度，计算折光率。

称取60℃下烘干的药材粉末0.25 g，置于圆底烧瓶中，加入150 mL 80%乙醇，置于冰水浴中加热并回流1 h，趁热过滤，残渣用10 mL 80%热乙醇洗涤3次，将剩余残渣及滤纸置于烧瓶中，加入150 mL水，置于沸水浴中加热回流1 h，趁热过滤，10 mL热水洗涤残渣及烧瓶4次，合并滤液和洗液，放冷，纯水定容至250 mL，量取1 mL，置于10 mL具塞干燥瓶中，纯水定容至2.0 mL，测定吸光度，计算总多糖含量（以无水葡萄糖计）。

2.3 总黄酮含量测定 类黄酮为多苯化合物，在碱性亚硝酸盐中与铝离子形成在470 nm波长处有特征性吸收峰的红色络合物。因此，本实验采用铝离子比色法，以10 mg芦丁为对照品，临用前加入1 mL标准稀释液制成10 mg/mL溶液，再依次稀释至0、0.15、0.30、0.45、0.60、0.75、0.90 mg/mL，计算总黄酮含量。

2.4 黄酮类成分代谢组学分析 将药材各组织部位置于冻干机中真空冷冻干燥，再加入氧化锆珠，在混合研磨机中粉碎，称取100 mg，加入2 mL 70%甲醇，4℃过夜提取，10 000×g离心10 min，取上清，过滤。分析采用Shim-pack C₁₈色谱柱（1.8 μm，2.1 mm×100 mm）；流动相0.04%醋酸-乙腈，梯度洗脱（0 min, 95:5；0~12.0 min, 5:95；12.0~15.0 min, 95:5）；体积流量0.40 mL/min；柱温40℃；进样量2 μL^[5]。

2.5 网络药理学研究 采用TCMSP在线数据库检索黄酮类化合物名称和CAS号^[6-7]，阈值设定为利用度>30%、类药性>0.18，筛选其作用靶点和疾病类型，去掉重复项后合并，通过Cytoscape3.10.0软件绘制网络图。

3 结果

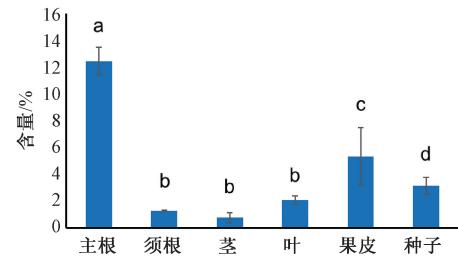
3.1 折干率 如表1所示，种子折干率最高，其次为主根，须根最低。

3.2 总多糖含量 以对照品吸光度为纵坐标（A），质量浓度为横坐标（X）进行回归，得方程为 $A = 2.563X + 1.264\ 3 (R^2 = 0.999\ 5)$ ，在0.1~0.7 mg/mL范围内线性关系良好。如图1所示，各组织部位中多糖含量在0.477%~12.445%范围内，依次为主根>果皮>种子>叶>茎，并且在

表1 滇黄精不同组织部位折干率

组织部位	鲜重/g	干重/g	折干率/%
主根	342.00	90.71	26.50
果皮	17.76	3.74	21.00
种子	14.15	13.11	92.60
须根	13.49	1.86	13.79
叶	63.42	15.91	25.07
茎	61.59	13.69	22.23

主根中达12.45%，远超过2020年版《中国药典》规定的7%。

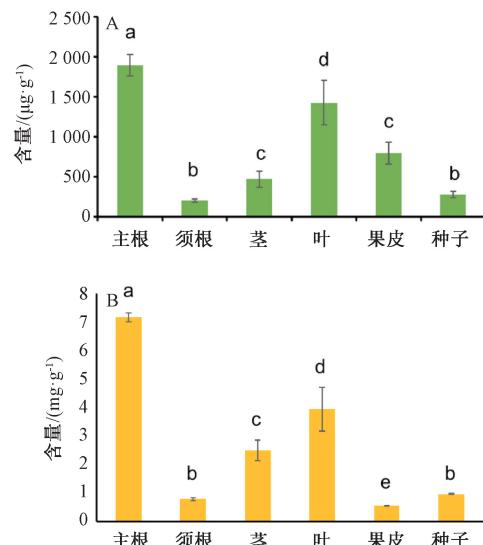


注：不同小写字母表示有显著差异 ($P < 0.05$)。

图1 滇黄精不同组织部位中总多糖含量

3.3 总皂苷、总黄酮含量 以对照品吸光度为纵坐标（A），质量浓度为横坐标（X）进行回归，得方程为 $A = 2.046\ 6X - 0.001\ 6 (R^2 = 0.998\ 3)$ ，在184.55~1 891.74 μg/g范围内线性关系良好。如图2所示，主根中总皂苷含量最高，叶中次之，须根中最低。

以对照品吸光度为纵坐标（A），质量浓度为横坐标（X）进行回归，得方程为 $A = 7.118\ 8X - 0.083\ 5 (R^2 = 0.998\ 2)$ ，在0~0.9 mg/mL范围内线性关系良好。如图2所示，主根中总黄酮含量最高，叶中次之，果皮中最低。



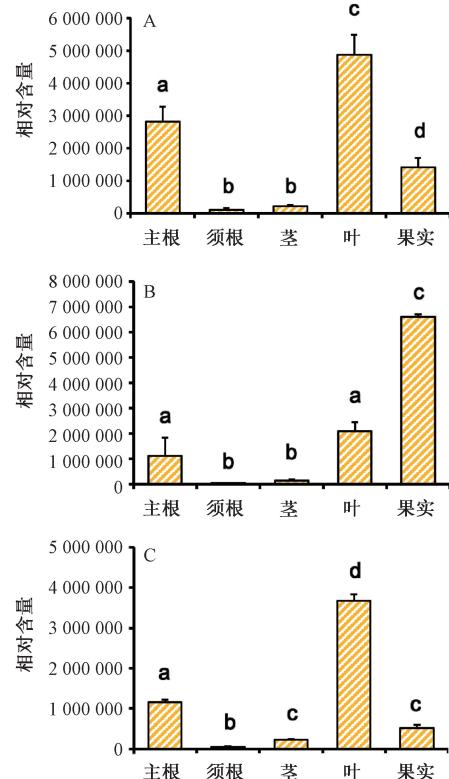
注：不同小写字母表示有显著差异 ($P < 0.05$)。

图2 滇黄精不同组织部位中总皂苷（A）、总黄酮（B）含量

3.4 代谢组学 在主根、须根、果实（果皮+种子）、叶、

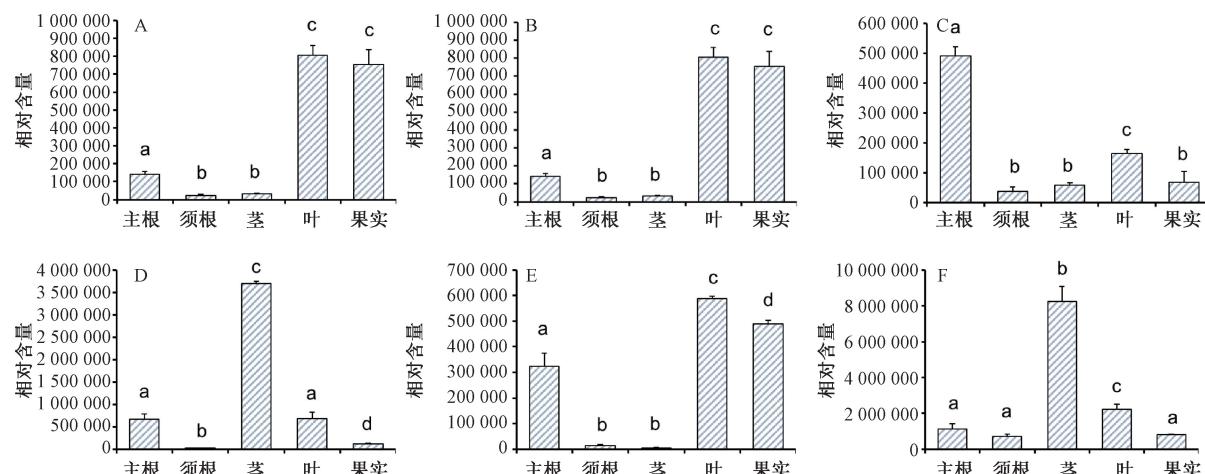
茎中共有485种黄酮类成分，包括11个类型，依次为黄酮(36%)>黄酮醇(20%)>其他类黄酮(15%)>异黄酮(8%)>二氢黄酮(8%)>查耳酮(5%)>花青素(2%)>二氢黄酮醇(2%)>鞣质(1%)>双黄酮(0.2%)，即黄酮和黄酮醇是药材中黄酮类成分的主要组成。

3.5 积累模式 如图3所示，叶中黄酮、异黄酮含量最高，主根中次之；果实中黄酮醇含量最高，叶中次之。



注：不同小写字母表示有显著差异($P<0.05$)。

图3 滇黄精不同组织部位中黄酮(A)、黄酮醇(B)、异黄酮(C)含量



注：不同小写字母表示有显著差异($P<0.05$)。

图4 滇黄精不同组织部位中二氢黄酮(A)、二氢黄酮醇(B)、黄烷醇(C)、查尔酮(D)、花青素(E)、其他类黄酮(F)含量

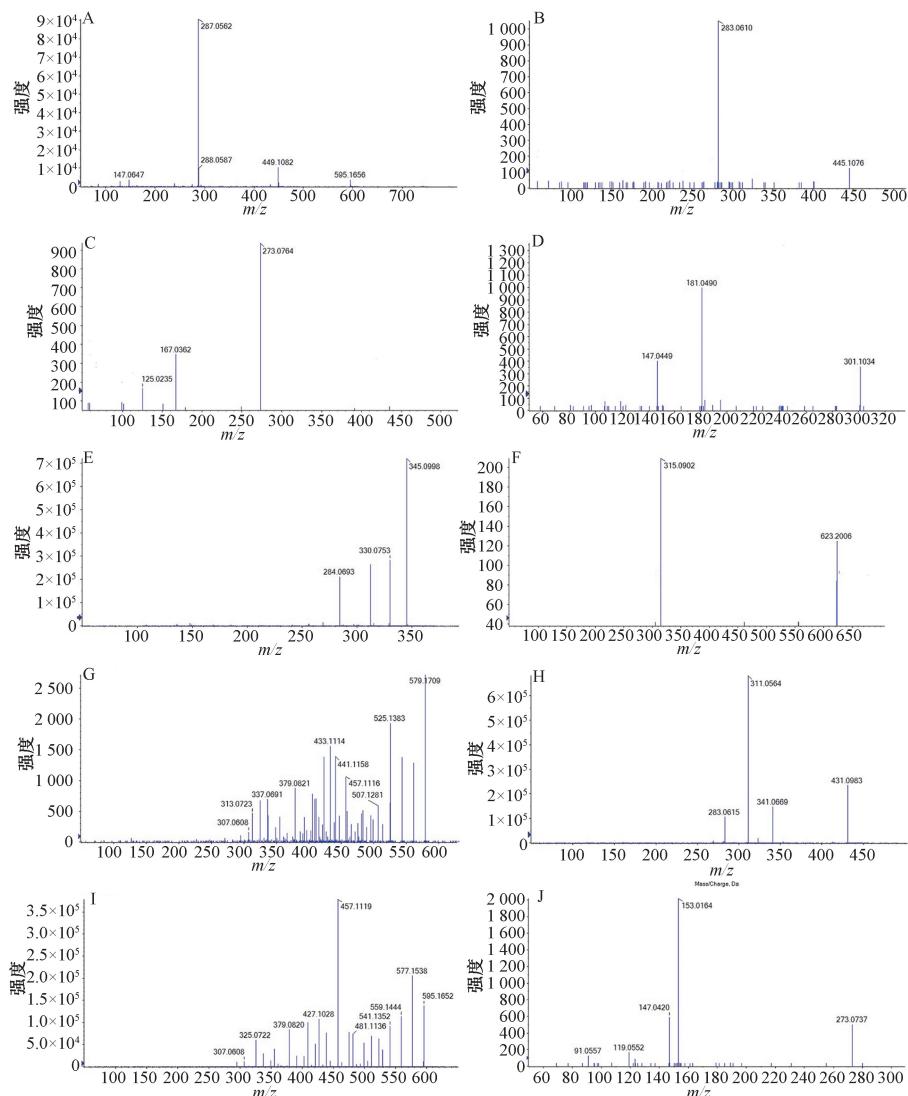
如图4所示，二氢黄酮、二氢黄酮醇、花青素含量在叶中最高，果实、主根中次之；黄烷醇含量在主根中最高，叶、果实中次之；查尔酮、其他类黄酮含量在茎中最高，叶、主根中次之。

3.6 网络药理学 共鉴定出10个黄酮类化合物，包括2个二氢黄酮(紫铆素、杜鹃素)、5个黄酮(新西兰牡荆苷Ⅱ、泽兰黄素、大薊苷、牡荆素、三色堇黄酮苷)、1个异黄酮(三叶豆紫檀苷)、1个查尔酮(根皮苷)、1个黄酮醇(刺槐苷)，见图5。

上述化合物相关靶点和疾病的网络图见图6。由此可知，牡荆素相关靶点为雄激素受体、前列腺素G/H合成酶2、DNA拓扑异构酶Ⅱ、凝血因子Xa、丝裂原活化蛋白激酶和胆碱/乙醇胺激酶，与前列腺癌、脊髓和球性肌肉萎缩、XY性发育障碍、肯尼迪性脊髓和球性肌肉萎缩症、X连锁尿道下裂等疾病相关；紫铆素、杜鹃素相关靶点包括前列腺素G/H合成酶1/2、视黄酸受体RXR-alpha、热休克蛋白HSP、γ亚型磷脂酰肌醇-4,5-二磷酸3-激酶催化亚基、β-内酰胺酶、钙调蛋白、PKA催化亚基C-alpha等，可影响心血管疾病、慢性炎症性疾病、膀胱癌、腹主动脉瘤、大肠息肉症、阿尔茨海默氏症等；三叶豆紫檀苷、根皮苷可能靶向前列腺素G/H合成酶2、凝血因子Xa、蛋白酪氨酸磷酸酶mRNA，调控心血管疾病、血栓、炎症性疾病的发生；新西兰牡荆苷Ⅱ主要靶向DNA拓扑异构酶Ⅱ，参与真菌性疾病的治疗。

4 讨论

折干率为加工药用植物、衡量药材品质的重要指标之一，其数值越高，含水量越低，营养成分越高，药材质量越好，药效越明显^[8]，本实验发现，滇黄精主根、须根、茎、叶、果皮、种子中该指标在12.21%~92.60%之间，并且种子最高，须根最低。另外，不同组织部位均含有总多糖、总皂苷、总黄酮3种主要药用成分，但其含量差异显



注: A~K 分别为刺槐苷、三叶豆紫檀苷、根皮苷、杜鹃素、大茴苷、泽兰黄素、三色堇黄酮苷、牡荆素、新西兰牡荆苷 II、紫铆素。

图 5 各黄酮类化合物 LC-MS/MS 色谱图

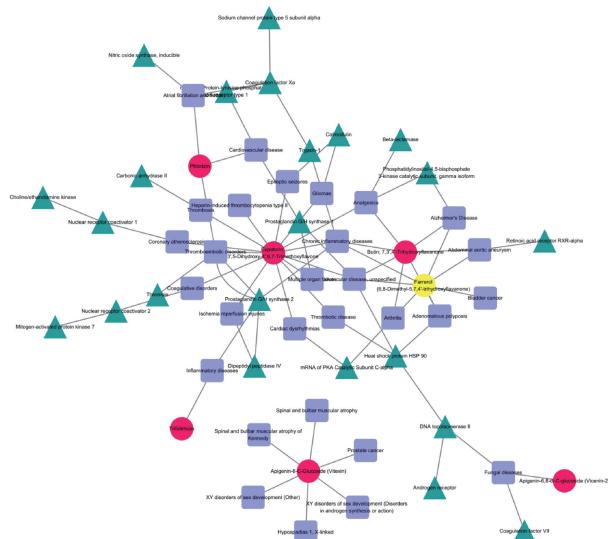


图 6 滇黄精中黄酮类化合物相关靶点和疾病网络图

著，在主根中的积累最高，其中总多糖具有抗肿瘤、抗衰老、降血糖、降血脂作用^[9~12]，与前期报道相似^[13]，本实验测定该类成分含量在 0.477% ~ 12.5% 之间，在主根中最高，符合 2020 年版《中国药典》要求（不低于 7%），果皮和种子中次之。

皂苷具有调节血糖、提高免疫力、抗肿瘤等作用^[10]，本实验发现，滇黄精不同组织部位中总皂苷含量在 184.6 ~ 1 891.7 μg/g 之间，以主根最高，叶次之，与钱华丽等^[13]报道一致。另外，黄精皂苷主要为甾体类和三萜类^[14~15]，本实验发现，除了根茎（主根+须根+茎）以外，叶、果皮中其含量也很高，可作为相关成分提取及保健食品开发的主要原料。

黄酮具有抗氧化活性^[16]，黄精中该类成分含量较高，但目前尚无关于其含量和种类在药材不同组织部位中积累模式的报道。本实验发现，滇黄精不同部位中总黄酮含量依次为根（主根+须根）>叶>茎；LC-MS/MS 法检测到 485

种黄酮类成分，其不同类型的含量依次为黄酮>黄酮醇>其他类黄酮>异黄酮>二氢黄酮>查耳酮>花青素>二氢黄酮醇>鞣质>双黄酮，紫铆素和杜鹃素与心血管疾病、慢性炎症性疾病、腹主动脉瘤、膀胱癌等相关^[17]，芹菜素-6, 8-二-C-葡萄糖苷与真菌病、前列腺癌、XY性发育障碍、尿道下裂等相關，三叶豆紫檀苷与炎症性疾病相关^[18-19]，根皮苷与心房颤动和扑动、心血管疾病、血栓栓塞性疾病等相關^[20-21]。

参考文献：

- [1] 柳威, 林懋怡, 刘晋杰, 等. 滇黄精研究进展及黄精研究现状[J]. 中国实验方剂学杂志, 2017, 23(14): 226-234.
- [2] 陈兴荣, 陈玲, 马志敏. 滇黄精的药用价值与开发利用[J]. 医药导报, 2003, 22(4): 261-263.
- [3] 李文竟, 李安琳, 肖惠妹, 等. UV-B 辐射对滇黄精幼苗生长、抗性生理及代谢物的影响[J]. 宜宾学院学报, 2024, 24(6): 71-75; 91.
- [4] Liu R, Lv X, Wang X H, et al. Integrative analysis of the multi-omics reveals the stripe rust fungus resistance mechanism of the TaPAL in wheat[J]. *Front Plant Sci*, 2023, 14: 1174450.
- [5] 张宁宁, 焦晓民. 基于网络药理学研究川芎-赤芍治疗冠状动脉粥样硬化性心脏病心绞痛的作用机制[J]. 中医临床研究, 2024, 16(17): 19-26.
- [6] 杨涛, 赵鹏, 张光宇, 等. 基于网络药理学探讨右归丸干预强直性脊柱炎作用机制[J]. 辽宁中医药大学学报, 2024, 26(4): 174-178.
- [7] 郭俊霞, 吴萍, 李青苗, 等. 川芎山苓种与坝苓种的质量比较研究[J]. 中药材, 2018, 41(8): 1791-1794.
- [8] 刘晓轩, 张驰, 黄思琪, 等. 黄精多糖类物质研究现状及发展动态的文献计量学分析[J]. 中草药, 2023, 54(21): 7130-7141.
- [9] 梁思琪. 大叶黄精多糖提取纯化、结构活性研究及代谢和转录差异分析[D]. 恩施土家族苗族自治州: 湖北民族大学, 2023.
- [10] 柯昌虎, 严慧, 赵阳, 等. 基于网络药理学和分子对接探讨黄精抗衰老的作用机制[J]. 湖北农业科学, 2023, 62(10): 100-108; 131.
- [11] 张融瑞, 华一琳, 陈文恺, 等. 黄精的几种不同溶剂提取物对大鼠的高脂血症的作用[J]. 江苏中医, 1988(7): 41-42.
- [12] 钱华丽, 赵琪, 徐哲, 等. 不同产地黄精的皂苷和多糖含量[J]. 贵州农业科学, 2022, 50(3): 96-102.
- [13] Li R S, Tao A E, Yang R M, et al. Structural characterization, hypoglycemic effects and antidiabetic mechanism of a novel polysaccharides from *Polygonatum kingianum* Coll. et Hemsl[J]. *Biomed Pharmacother*, 2020, 131: 110687.
- [14] Zhu S Q, Liu P, Wu W X, et al. Multi-constituents variation in medicinal crops processing: Investigation of nine cycles of steam-sun drying as the processing method for the rhizome of *Polygonatum cyrtonema*[J]. *J Pharm Biomed Anal*, 2022, 209: 114497.
- [15] 许明峰, 沈莲清, 王向阳, 等. 狹叶虎皮楠黄酮类物质的分离、鉴定及抗氧化活性研究[J]. 林产化学与工业, 2009, 29(4): 110-112.
- [16] 马晓玲, 刘雪松, 石磊岭, 等. 骆驼刺中的紫铆素诱导 SiHa 细胞凋亡及其作用机制研究[J]. 中药新药与临床药理, 2021, 32(9): 1284-1292.
- [17] 傅月朦, 余登香, 王淑娜, 等. 山豆根黄酮类成分药理作用及机制研究进展[J]. 中草药, 2022, 53(19): 6234-6244.
- [18] 林梓泓. 三叶豆紫檀苷保护去卵巢小鼠骨丢失的作用及其分子机制研究[D]. 汕头: 汕头大学, 2022.
- [19] 李正娟, 梅雪然, 李莉平. 根皮苷在 AOPPs 诱导的滋养细胞衰老中的保护作用[J]. 中国医院药学杂志, 2023, 43(19): 2142-2147.
- [20] 肖然. 根皮苷对力竭性小鼠的抗疲劳作用及机制研究[D]. 遵义: 遵义医科大学, 2022.