第45卷 第3期 华 中 农 业 大 学 学 报 Vol.45 No.3
2026年 5月 Journal of Huazhong Agricultural University May 2026,292～303

田欣,张欢,马兆成,等.湖北不同品种黄精的化学组成及其体外功能活性比较[J].华中农业大学学报,2026,45(3):292-303.
DOI:10.13300/j.cnki.hnlkxb.2026.03.027

湖北不同品种黄精的化学组成及其体外功能活性比较

田欣[1],张欢[1],马兆成[2],李秀娟[1]

1.华中农业大学食品科学技术学院,武汉 430070; 2.武汉大学公共卫生学院,武汉 430072

摘要 为明确湖北省黄精产业种质资源的品质特征与差异化利用价值,系统评价了湖北省崇阳多花黄精(CYD)、崇阳鸡头黄精(CYJ)、罗田多花黄精(LTD)、十堰紫杆鸡头黄精(SYJ)及恩施黄恩1号(ESH)5种黄精的主要化学成分、活性成分、代谢产物以及体外活性差异。结果显示:5种黄精呈现低淀粉(0.33%～1.49%)、低脂肪(0.36%～0.76%)、低还原糖(0.97%～5.44%)、高蛋白(9.03%～10.47%)的营养特征,醇溶性浸出物含量为73.34%～81.86%,多糖含量为5.05%～8.99%,皂苷含量为3.17%～10.97%,其中CYJ和ESH未达到药典中多糖的要求(7%),而ESH皂苷含量远高于文献报道值。代谢组学分析显示,CYD与LTD富集多糖、黄酮与酚酸类成分,而ESH与CYJ则高表达甾体皂苷类成分,整体呈现出多糖-酚酸与皂苷-脂质2条不同的代谢积累路径。各样品重金属及溶血率均符合安全标准。体外活性评价结果显示,5种黄精的抗氧化活性由亲水性成分主导,LTD表现最优;CYD水提物对α-葡萄糖苷酶抑制活性最强(IC_{50}=0.61 mg/mL),而CYD醇提物对α-淀粉酶抑制活性最强(IC_{50}=1.30 mg/mL),这些功能活性值高于部分文献报道。研究表明,湖北黄精种质资源丰富且功能各异,可以根据物质基础和功能活性进行品种选育和产品开发。

关键词 黄精; 多糖; 皂苷; 药食同源; 品质特性; 生物活性; 非靶向代谢组学

中图分类号 TS205;R284 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2026)03-0292-12

黄精(*Polygonatum sibiricum*)是百合科黄精属多年生草本植物,广泛分布于北温带地区,兼具药用、食用和观赏价值[1]。在我国传统医学中,黄精以干燥根茎入药,具有补气养阴、健脾益肾之功效[2]。现代研究进一步表明,黄精在增强免疫、调节血糖血脂、抗氧化及抗菌抗病毒等方面具有显著活性[3]。《中华人民共和国药典》(2020年版)收录了滇黄精(*Polygonatum kingianum* Coll.et Hemsl.)、黄精(*Polygonatum sibiricum* Red.)和多花黄精(*Polygonatum cyrtonema* Hua)3种药用黄精基原,它们在形态、成分和药理特性上差异显著,资源多样性丰富。目前已从黄精中分离出多糖、皂苷、黄酮、生物碱、苯丙素及其衍生物等多类生物活性成分[4],其中多糖和皂苷含量较高,被认为是黄精发挥药效的重要物质基础[5]。然而,各类成分之间可能存在协同效应,进一步影响着其多样化的健康功效。黄精生品具有明显刺激性,表现为麻舌感、咽喉刺激及皮肤接触可能引发的瘙痒、红斑或水肿等反应,故临床多经炮制后使用,以减毒增效[6]。

湖北省是我国黄精的重要产区,野生资源丰富。黄精现已入选湖北省十大楚药,然而当前湖北黄精产业总体仍处于初级阶段,种质混杂、工艺与质控标准缺乏、高附加值产品开发薄弱,与优势产区相比还有很大差距[7]。

为推动湖北省黄精产业的高质量发展,亟需明确湖北主要黄精品种的品质特性。本研究选取崇阳多花黄精(CYD)、崇阳鸡头黄精(CYJ)、罗田多花黄精(LTD)、十堰紫杆鸡头黄精(SYJ)及恩施黄恩1号(ESH)5种本省黄精代表性品种,系统比较其基本化学成分、活性成分、代谢组特征及体外活性,并结合刺激性、安全性等指标进行综合评价,旨在阐明不同黄精的品质特性与差异,为湖北省黄精良种选育、规范化种植及高值化产品开发提供科学依据,提升湖北省黄精产业核心竞争力。

收稿日期:2026-02-16
基金项目:湖北省农业科技创新中心创新团队项目(2025-620-000-001-027)
田欣,E-mail:15238572827@163.com
通信作者:李秀娟,E-mail:lixiujuan@mail.hzau.edu.cn

1　材料与方法

1.1　仪器、主要试剂与材料

ALPHA1-4真空冷冻干燥机，德国Martin Christ公司；Wonbio-96c多样品冷冻研磨仪，上海万柏生物科技有限公司；LNG-T88台式快速离心浓缩干燥器，太仓市华美生化仪器厂；JXDC-20氮气吹扫仪，上海净信实业发展有限公司；5804R冷冻离心机，德国艾本德有限公司；RE-52AA型旋转蒸发器，上海亚荣生化仪器有限公司；UV-1500紫外/可见分光光度计，上海美析仪器有限公司；e2695高效液相色谱仪，美国Waters公司；M200全波长酶标仪，北京东胜创新生物科技有限公司；ACQUITY UPLC超高效液相色谱系统，美国Waters公司；AB SCIEX-Triple TOF 6600质谱仪，AB SCIEX；NexION300x电感耦合等离子体质谱仪（配备耐HF酸雾化器和S10自动进样器），美国PerkinElmer公司；Mars-6高通量微波消解仪（配Xpress消解罐），美国CEM Corporation公司。

薯蓣皂苷元、ABTS均为分析纯，购自上海源叶有限公司；DPPH、α-葡萄糖苷酶、pNPG、α-淀粉酶均为分析纯，购自上海阿拉丁生化科技股份有限公司；TPTZ溶液（10 mmol/L），购自福州飞净生物科技有限公司；*L*-2-氯苯丙氨酸（分析纯），购自上海泰坦科技股份有限公司；脱纤兔血，购自广州鸿泉生物科技有限公司（来源为商业血制品，伦理豁免）；甲醇、甲酸、乙腈、2-丙醇均为色谱纯；试验用水为超纯水。

于2024年10—12月期间，采集5种4年生黄精的新鲜根茎样品。为确保代表性，各产地均采用随机多点取样法采集多个植株，混合后作为供试样品。具体样品信息如下：CYJ，基原为黄精，采自湖北省咸宁市崇阳县；CYD，基原为多花黄精，同采自咸宁市崇阳县；LTD，多花黄精，采自湖北省黄冈市罗田县；SYJ，黄精，采自湖北省十堰市茅箭区；ESH，黄恩1号，恩施土家族苗族自治州来凤县选育的滇黄精农家品种改良新品种。样品经清水洗净沙土并去除须根后，切片，60 ℃恒温干燥至恒质量，粉碎过筛，备用。

1.2　基本组成成分的测定

新鲜黄精的水分含量参照GB 5009.3—2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》中恒压干燥法测定；粗蛋白含量参照GB 5009.5—2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》中凯氏定氮法测定；粗脂肪含量根据GB 5009.6—2016《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》中索氏抽提法测定；总灰分含量根据GB 5009.4—2016《食品安全国家标准 食品中灰分的测定》中第一法测定；还原糖含量根据GB 5009.7—2016《食品安全国家标准 食品中还原糖的测定》中直接滴定法测定；淀粉含量采用碘-淀粉比色法测定[8]。

1.3　活性成分的测定

醇溶性浸出物含量根据《中华人民共和国药典》2020年版四部通则2201项下的热浸法测定；多糖含量根据《中华人民共和国药典》2020年版一部中黄精项下蒽酮硫酸法测定；皂苷含量采用香草醛-冰醋酸比色法测定[9]；总酚含量测定采用福林酚法[10]；总黄酮含量测定采用亚硝酸钠-硝酸铝-氢氧化钠法[11]。

1.4　LC-MS分析

取液氮速冻的黄精样品（1～2 mm^3组织块）50 mg，加入含0.02 mg/mL内标*L*-2-氯苯丙氨酸的甲醇-水提取液（4∶1，*V*/*V*）400 μL。于冷冻研磨仪中（－10 ℃，50 Hz）研磨6 min，然后在5 ℃、40 kHz条件下超声提取30 min。－20 ℃静置30 min后于4 ℃、13 000 r/min离心15 min，取上清液置于进样小瓶待LC-MS分析；另取各样本上清液20 μL混合制备质控（QC）样本。

色谱分析采用AB SCIEX UHPLC-TripleTOF 6600系统，色谱柱为ACQUITY UPLC HSS T3（100 mm×2.1 mm，1.8 μm）。流动相：A相为0.1%甲酸水溶液-乙腈（95∶5，*V*/*V*），B相为0.1%甲酸乙腈-异丙醇-水（47.5∶47.5∶5，*V*/*V*）。梯度洗脱程序：0－0.2 min 100% A；0.2－3.0 min 75% A；3.0－9.0 min 100% B；10.0－10.1 min 100% A并平衡至12.0 min。流速恒为0.40 mL/min，柱温45 ℃，进样量10 μL。质谱采用ESI正/负离子双模式（*m*/*z* 50～1 200）采集，所用质谱检测参数设置如下：质荷比扫描范围为50～1 200；喷雾气压强为344.75 kPa；辅助加热气压强为344.75 kPa；气帘气压强为241.325 kPa；离子源温度为520 ℃；正极离子化电压为5 500 V，负极离子化电压为－4 500 V；开启接口加热功能；去簇电压为80 V；碰撞能设置为（40±20）eV。

数据处理采用Progenesis QI v3.0软件。原始数据经基线校正、峰识别与对齐后生成包含保留时间、质荷比和峰强度的数据矩阵。数据预处理包括：采用80%规则剔除缺失值，以最小值填补剩余空缺值，总和归一化法校正响应强度，并删除QC样本RSD＞30%的变量，最后进行log10转换。注释基于HM-

DB/METLIN的MS/MS谱匹配(质量误差$<10^{-5}$)。

1.5 黄精活性成分的提取

黄精提取物制备采用加热回流法[12-13]。分别称取25 g黄精粉末,80 ℃回流提取3次,每次2 h,水提物制备每次分别加入10、8、8倍量水,醇提物制备每次分别加入10、8、8倍量80% 乙醇,合并滤液后取上清液,减压浓缩冻干,获得水提物和醇提物冻干粉。

1.6 体外抗氧化活性的测定

DPPH自由基(DPPH·)、羟基自由基(·OH)、$ABTS^+$自由基($ABTS^+$·)等清除试验分别参照何军波等[14]、吕世鑫等[15]以及冯婧等[16]的方法,FRAP值的测定参考闫峻等[17]的方法。提取物的FRAP值最终结果以抗坏血酸等量抗氧化能力(Vc equal antioxidant capacity,VcE)表示,μmol/g。DPPH·、·OH、$ABTS^+$·清除试验结果以IC_{50}值表示,IC_{50}值为降低初始吸光度值50% 所需的样品的浓度。

1.7 体外降血糖活性的测定

提取物对α-葡萄糖苷酶的抑制能力测定参照Deng等[18]的方法并略作修改。分别取50 μL 0.5、1.0、1.5、2.0、2.5 mg/mL水提物和醇提物溶液与50 μL 0.5 U/mL α-葡萄糖苷酶溶液37 ℃孵育10 min,加入50 μL pNPG(2.5 mmol/L)和200 μL PBS(pH 6.8)继续反应30 min,500 μL 1 mol/L Na_2CO_3终止反应,405 nm测定吸光度。以阿卡波糖为阳性对照,α-葡萄糖苷酶抑制率(公式用I_1表示),按公式(1)计算。

$$I_1=(1-\frac{A_1-A_2}{A_0})\times 100\% \quad (1)$$

式(1)中:A_1为加入提取物的吸光度;A_2为PBS代替α-葡萄糖苷酶溶液测得的吸光度;A_0为PBS代替提取物测得的吸光度。

提取物对α-淀粉酶的抑制能力测定参照Duan等[19]的方法并略作修改。分别取100 μL 0.5、1.0、1.5、2.0、2.5 mg/mL水提物和醇提物溶液与50 μL 1 U/mL α-淀粉酶溶液37 ℃孵育15 min,加入100 μL 1% 可溶性淀粉溶液反应10 min,100 μL DNS试剂终止反应,沸水浴10 min。冷却稀释至5 mL,540 nm测定吸光度。以阿卡波糖为阳性对照,α-淀粉酶抑制率(公式用I_2表示)按公式(2)计算。

$$I_2=(1-\frac{A_1-A_2}{A_0})\times 100\% \quad (2)$$

式(2)中:A_1为加入提取物的吸光度;A_2为PBS代替α-淀粉酶溶液测得的吸光度;A_0为PBS代替提取物测得的吸光度。

1.8 草酸钙含量测定

草酸钙含量测定采用酸解-HPLC法[20]。称取0.5 g样品水洗去除可溶性草酸盐,再用1 mL盐酸(1∶1,V/V)70 ℃水解15 min,重复2次,合并滤液定容至25 mL,进样量为10 μL。色谱条件:Waters XBridge C18柱(150 mm×4.6 mm,5 μm),流动相为0.5% KH_2PO_4(pH 2.2~2.3)-甲醇(92∶8,V/V),流速0.8 mL/min,柱温28 ℃,检测波长210 nm。草酸标准品溶液经0.45 μm微孔滤膜过滤后进样分析,建立标准曲线。方法学验证包括稳定性、重复性和加标回收率试验。

1.9 溶血活性测定

红细胞悬液制备:取脱纤兔血,0.9%NaCl溶液洗涤2~3次至无溶血,配制成2% 悬液。甲醇提取物制备:取2.0 g黄精粉末,以20 mL甲醇超声提取3次,合并提取液浓缩。溶血率参考林雨等[21]的方法测定。取2 mg/mL提取物2.5 mL与等体积红细胞悬液37 ℃孵育30 min,545 nm测定吸光度,以生理盐水为阴性对照,蒸馏水为阳性对照。溶血率(公式用R表示)按公式(3)计算。

$$R=\frac{A_{样品}-A_{阴性}}{A_{阳性}-A_{阴性}}\times 100\% \quad (3)$$

式(3)中:$A_{样品}$为样品实验组吸光度;$A_{阳性}$为阳性对照组吸光度;$A_{阴性}$为阴性对照组吸光度。

1.10 无机元素的测定

无机元素测定采用微波消解-ICP-MS法。精密称取0.25 g样品,经硝酸预消解后加入过氧化氢,采用微波消解程序处理,130 ℃赶酸至0.5 mL后定容至50 mL。标准工作溶液按元素类别配制不同浓度梯度:Pb、Cd、As、Cu为0.0~40.0 μg/L,Hg为0.0~10.0 μg/L。ICP-MS工作参数为:射频功率1 100 W,载气和辅助气流速均为1.2 L/min,蠕动泵采集转速20 r/min。按公式(4)计算元素含量。

$$X=\frac{(C-C_0)\times V\times F_D}{1000\times m} \quad (4)$$

式(4)中:X为元素含量,mg/kg;C为试样质量浓度,μg/L;C_0为空白质量浓度,μg/L;V为消化液体积,mL;m为样品质量,g;F_D为后续稀释倍数(若无,则=1)。

1.11 数据处理

用Microsoft Excel整理与制表;所有测定$n\geqslant 3$,结果以均值±SD表示。用IBM SPSS Statistics 26进行显著性分析,用Origin 2020软件进行图形绘制。

2　结果与分析

2.1　黄精基本组成成分

黄精的基本组成成分含量见表1。各品种粗蛋白含量介于9.03%～10.47%。黄精中淀粉含量相对较低(0.33%～1.49%),且品种间有显著性差异($P<0.05$);同时,粗脂肪和还原糖含量也处于较低水平。此外,5种黄精的灰分含量为2.45%～3.08%,均未超过药典中的限量标准(4%),表明无机杂质控制良好。

表1　黄精基本组成成分含量(n=3)

Table 1　Contents of basic active component in *Polygonatum* (n=3)　%

成分 Component	CYJ	CYD	LTD	SYJ	ESH
水分 Moisture	75.79±0.20b	71.19±0.57d	72.04±0.07c	81.56±0.54a	75.11±0.57b
粗脂肪 Crude fat	0.72±0.03a	0.53±0.02b	0.76±0.02a	0.36±0.02d	0.41±0.03c
粗蛋白 Crude protein	9.52±0.44bc	9.91±0.37ab	9.03±0.18c	10.47±0.41a	10.05±0.61ab
还原糖 Reducing sugar	1.72±0.04c	0.97±0.03e	5.44±0.02a	1.58±0.08d	1.92±0.13b
淀粉 Starch	0.51±0.02d	0.33±0.01e	1.49±0.01a	1.04±0.01b	0.91±0.05c
灰分 Ash	2.45±0.02d	3.08±0.13a	2.51±0.00cd	2.67±0.01bc	2.72±0.19b

注:除水分外,其余指标以干基表示;结果为"平均值±标准差"(n=3);同行不同小写字母表示黄精的不同指标含量差异显著($P<0.05$),下同。Note:Except for moisture, the other parameters are expressed on a dry basis; the results are expressed as "mean±standard deviation"(n=3); different lowercase letters in the same row indicate significant differences in the parameter content among different *Polygonatum* samples ($P<0.05$). The same applies below.

2.2　黄精活性成分

5种黄精活性成分含量见表2。醇溶性浸出物是黄精重要的质量控制指标,5种黄精浸出物均远超药典限值(≥45%),其中SYJ含量最高,为81.86%,CYJ含量较低,为73.34%。多糖是黄精中主要生物活性成分之一,具有多种药理作用,CYJ和ESH未达到药典中多糖的要求(7%)。然而湖北黄精(特别是恩施种源)在皂苷含量上展现出优势。ESH皂苷含量远高于其他4种黄精,该种质资源已形成皂苷富集型性状。样品间总酚和总黄酮含量也有显著差异($P<0.05$)。CYJ的总酚最高,是SYJ的11.52倍。总的来说,5种黄精品质特征各异:CYD多糖含量相对较高;SYJ醇溶性浸出物丰富,总酚偏低;ESH虽然多糖含量最低,但皂苷和总黄酮含量最高。

表2　黄精活性成分含量

Table 2　Contents of active components in *Polygonatum*

活性成分 Active component	CYJ	CYD	LTD	SYJ	ESH
醇溶性浸出物/% Alcohol-soluble extract	73.34±1.02c	74.65±1.47bc	77.17±1.36b	81.86±0.54a	76.01±2.57bc
多糖/% Polysaccharides	6.59±0.02d	8.99±0.23a	7.14±0.01c	7.37±0.01b	5.05±0.05e
皂苷/% Saponins	3.17±0.02d	3.44±0.11d	4.09±0.04c	5.45±0.33b	10.97±0.15a
总酚/(mg/g) Total phenolics	3.34±0.02a	2.17±0.01b	1.75±0.01c	0.29±0.02e	0.85±0.06d
总黄酮/(mg/g) Total flavonoids	0.57±0.03d	0.49±0.00e	0.72±0.03b	0.62±0.03c	0.82±0.02a

2.3　非靶向代谢组学

通过非靶向代谢组学技术在5种黄精中共检出3 580个代谢物,其中2 827个注释至18个化合物类别,脂类及类脂分子、有机酸及其衍生物、有机氧化合物占比较高(图1)。主成分分析(PCA)结果显示,5组样本在PC1与PC2维度上均实现了清晰分离(图2)。其中,ESH与CYJ组分布独立,显示出代谢特异性;LTD、CYD与SYJ 3组虽在空间上聚类较近,但组间界限分明且无重叠。这表明各组黄精的代谢组学特征差异显著。

进一步的差异代谢物筛选揭示了不同品种的代谢调控差异(图3),CYJ组差异物以下调为主,提示其特定代谢通路的活性受到抑制,而ESH与CYD组上调代谢物较多,表明其合成代谢更为活跃。在二级阈值下共识别到差异代谢物138个,CYJ、CYD、LTD、SYJ、ESH相较于其他黄精分别筛选到26、44、22、27、31个差异代谢物。通过对各组特异性高表达成分的化学分类统计发现,不同品种呈现出不同的化学富集特征(图4)。ESH与CYJ组表现为皂苷富集型特征,其中CYJ组筛选出22个高丰度成分,包括16种皂苷和5种糖苷;ESH组的28个特异性成分中有15种皂苷,还有4种黄酮及2种氨基酸衍生物等。相比之下,CYD与LTD组则呈现出黄酮-酚酸富集型特征,CYD组筛选出的37个高表达成分化学多样

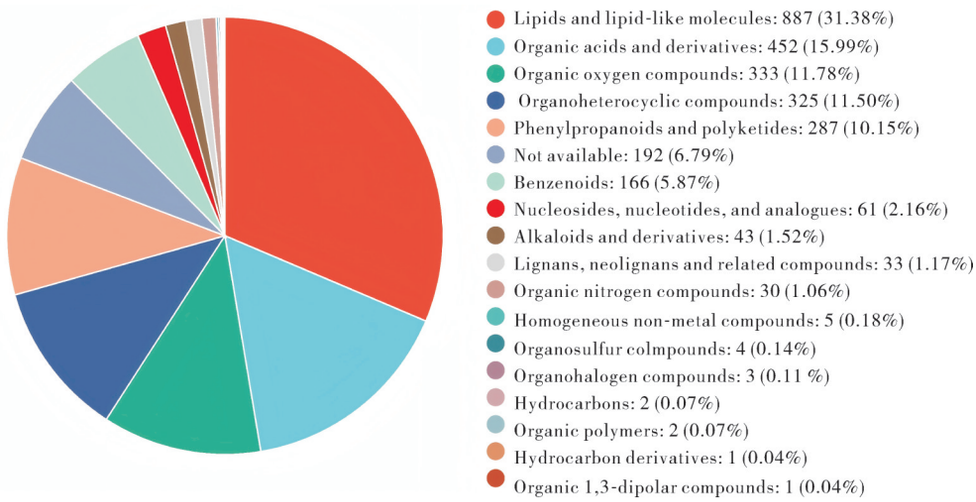


图1 代谢物的HMDB化合物分类

Fig.1 HMDB chemical classification of metabolites

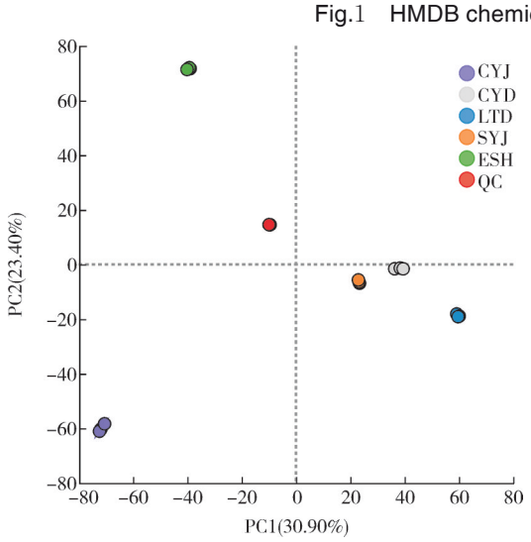


图2 5种黄精PCA得分图

Fig.2 PCA score plot of five *Polygonatum* samples

性最丰富，包括8种黄酮、8种酚酸、7种萜类及8种糖苷等；LTD组则在8个差异成分中主要积累了黄酮（5种）及少量皂苷（3种）。SYJ组筛选出的17个高表达代谢物主要涉及萜类（3种）、糖苷（6种）及皂苷（4种）等，表现出相对均衡的代谢特征。上述结果从分子水平证实了不同黄精品种在皂苷与黄酮-酚酸积累上的代谢分化。

2.4 体外抗氧化活性

1）自由基清除能力。采用DPPH·、$ABTS^{+}$·以及·OH 3种模型评价5种黄精水提物、醇提物的自由基清除能力（表3）。从反应体系与提取溶剂的适配性来看，$ABTS^{+}$·与·OH清除模型均为典型的水相反应体系，而DPPH·模型为醇相体系，但本研究中水提物在3种模型中的IC_{50}值均普遍低于对应的醇提物，尤其在$ABTS^{+}$·和·OH模型中醇提物优势更显著。部分提取物在高剂量下对·OH和DPPH·的清除率已接近阳性对照VC。结果表明，湖北产黄精水提物具有较好的抗氧化活性，LTD的抗氧化效果较其他品种好。

2）铁离子还原能力（FRAP）。图5是根据VC当量换算得到的各提取物（1 mg/mL）的FRAP值。FRAP值越大，抗氧化能力越强。黄精水提物的FRAP强弱依次为LTD、CYD、ESH、CYJ、SYJ，醇提物强弱依次为LTD、CYJ、CYD、ESH、SYJ，可见

表3 不同黄精提取物对自由基清除率的IC_{50}值

Table 3 IC_{50} values of extracts for radical scavenging activity mg/mL

样品 Sample	DPPH·清除率IC_{50} DPPH· scavenging rate IC_{50}		$ABTS^{+}$·清除率IC_{50} $ABTS^{+}$· scavenging rate IC_{50}		·OH清除率IC_{50} ·OH scavenging rate IC_{50}	
	水提物 Water extract	醇提物 Alcohol extract	水提物 Water extract	醇提物 Alcohol extract	水提物 Water extract	醇提物 Alcohol extract
CYJ	20.67±0.16b	31.57±0.99a	0.98±0.02d	11.45±0.13a	17.01±0.15d	35.84±0.23d
CYD	19.43±0.27c	21.93±0.34c	0.77±0.04e	6.58±0.19d	16.03±0.16e	42.11±0.22c
LTD	11.43±0.84e	14.32±0.64e	1.19±0.02c	5.78±0.09e	24.68±0.23b	47.33±0.20b
SYJ	26.02±0.51a	25.68±0.51b	1.48±0.02b	7.90±0.03c	18.85±0.08c	47.68±0.31b
ESH	15.89±0.35d	19.87±0.60d	1.75±0.05a	8.97±0.38b	30.68±0.21a	58.74±0.65a

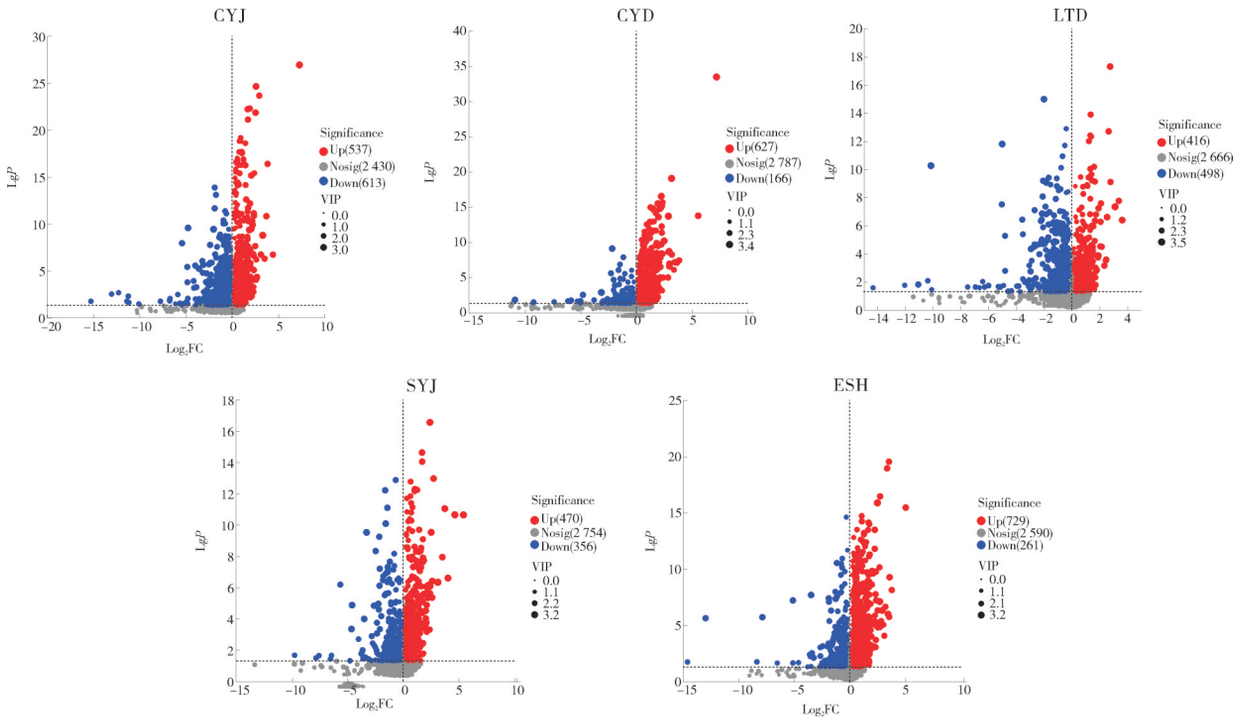


图3　5种黄精差异代谢物火山图

Fig.3　Volcano plot of differential metabolites in five *Polygonatum* samples

LTD的铁离子还原能力在2种萃取体系中均居首位，SYJ最低。总体来说，FRAP结果与DPPH·、$ABTS^{+}$·的趋势基本一致（LTD、CYD表现较好，SYJ偏弱）。结合代谢组学结果，这种活性差异可能归因于物质的特异性分布：LTD与CYD富含黄酮、酚酸等成分，它们是良好的电子供体，能有效还原铁离子[22]；SYJ主要富集糖苷、皂苷和萜类成分，而且相对均衡；ESH与CYJ则是皂苷富集型品种。基于上述结果，后续在抗氧化功能原料遴选上，可优先考虑LTD，其水提物和醇提物都具有较好的抗氧化能力，CYD和ESH的水提物、CYJ的醇提物次之。当然，这个评价并不能代表体内抗氧化活性。

2.5　体外降血糖活性

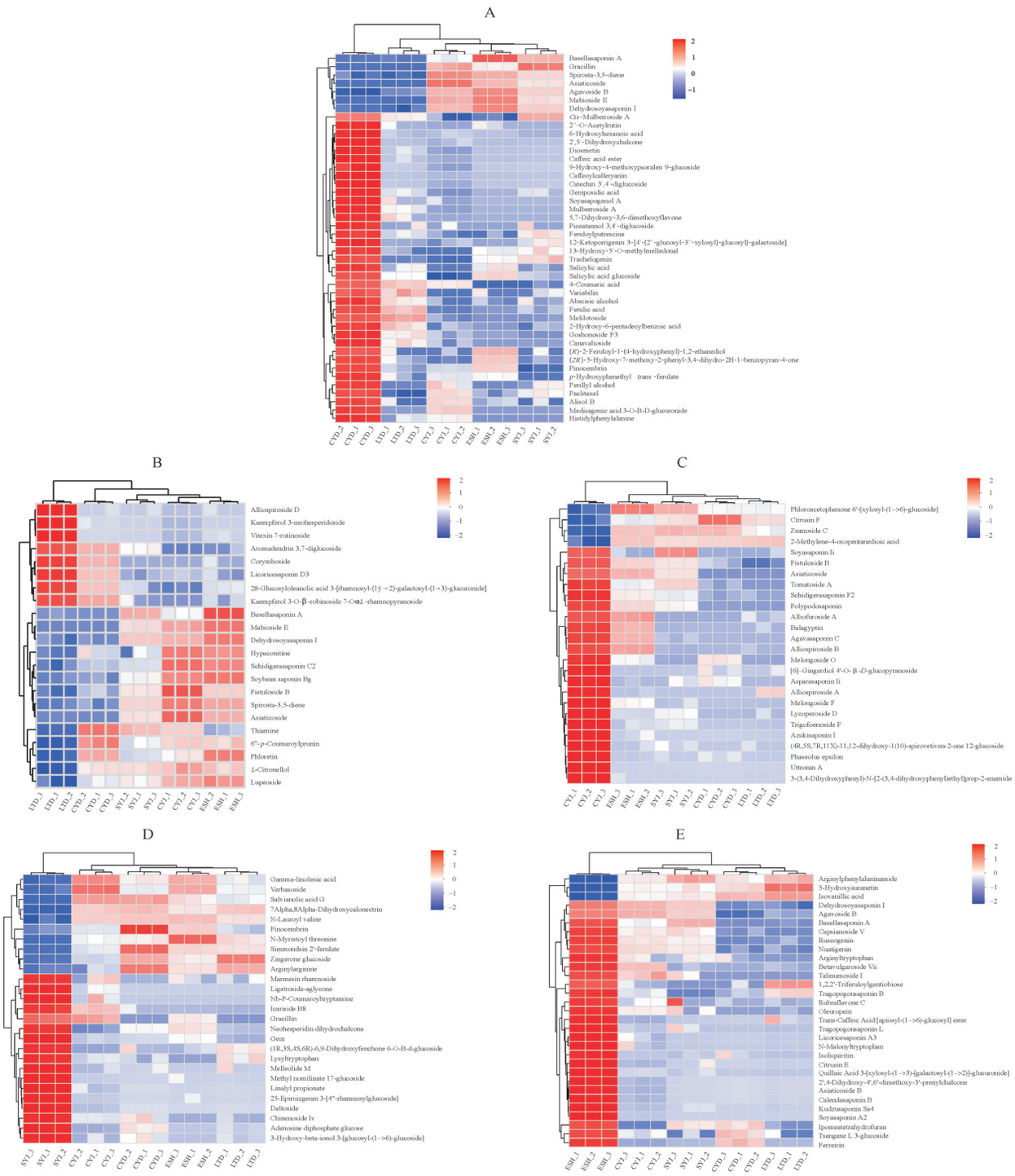
α-葡萄糖苷酶特异性水解寡糖及多糖非还原端的α-1,4糖苷键，α-淀粉酶则将淀粉快速糖化为低聚糖与单糖，二者共同决定餐后血糖上升速率[23-24]。5种黄精的水、醇提物对两者的抑制率，均呈显著剂量依赖关系（图6）。由表4可知，在α-葡萄糖苷酶抑制试验中，水提物中CYD表现最优（IC_{50}=0.61 mg/mL），优于其他水提样品（1.06～1.73 mg/mL）；然而在醇提物中LTD（IC_{50}=0.89 mg/mL）与ESH（IC_{50}=0.95 mg/mL）表现最为突出。在α-淀粉酶抑制试验中，CYD醇提物表现出最强的抑制活性（IC_{50}=1.30 mg/mL），ESH醇提物紧随其后（IC_{50}=1.40 mg/mL）。结合非靶向代谢组学分析，上述活性差异揭示了不同化学表型的功能特异性：CYD与LTD富集的黄酮及酚酸可通过氢键或疏水作用锚定酶活性中心，主导了其优异的酶抑制效能[25]；而ESH醇提物的功效则与其特异性高表达的皂苷类成分密切相关。

2.6　安全性与刺激性评价

检测了Hg、Pb、Cd、As、Cu 5种重金属元素，其含量均未超过药典限量值（表5）。黄精中草酸钙针晶是引发口腔及消化道黏膜刺激性的关键因子[26]，引发麻、刺、痛等炎性反应。图7A显示，5种样品中LTD的草酸钙含量最高，CYD和SYJ次之，CYJ与ESH最低。此外，采用体外红细胞溶血试验可初步评估样本对细胞膜的潜在破坏作用，溶血率低于5%视为无溶血性[27]。图7B显示5种黄精甲醇提取物溶血率均低于该阈值，说明强膜破坏性成分含量较低。尽管溶血试验结果处于安全范围内，但它主要反映细胞膜层面的破坏，不能全面代表实际人体口腔黏膜的综合刺激反应。因此，鉴于草酸钙针晶可能存在的口咽刺激风险，黄精加工时需通过蒸制等炮制工艺破坏晶体结构，以消除刺激隐患。

3　讨　论

针对湖北省黄精产业种质资源不清晰、品质评



A:CYD;B:LTD;C:CYJ;D:SYJ;E:ESH与其他4种黄精的对比 ESH comparison with the other four *Polygonatum* species.

图4 不同黄精品种的化学富集特征聚类分析热图

Fig.4 Heatmap of cluster analysis on chemical enrichment characteristics of different *Polygonatum* species

价维度单一及产品开发同质化严重的现状,本研究对湖北5个主要品种黄精的基础组成成分、活性成分、代谢组学特征、体外抗氧化和降糖活性及安全因子进行了全面评价。

从基础组成成分来看,5种黄精均呈现低淀粉(0.33%~1.49%)、低脂肪(0.36%~0.76%)、低还原糖(0.97%~5.44%)、高蛋白(9.03%~10.47%)的营养特征,满足大健康食品原料的需求。淀粉含量与文献报道[28]一致,而蛋白质高于文献值(2.96%~5.40%)[29]。从活性成分看,既有多糖含量高的品种

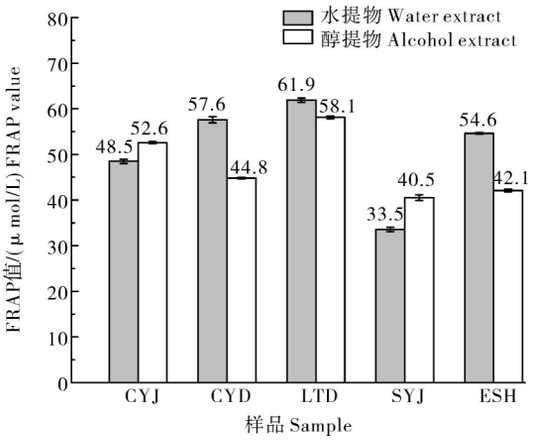


图5　各提取物的铁离子还原能力

Fig.5　FRAP of various extracts

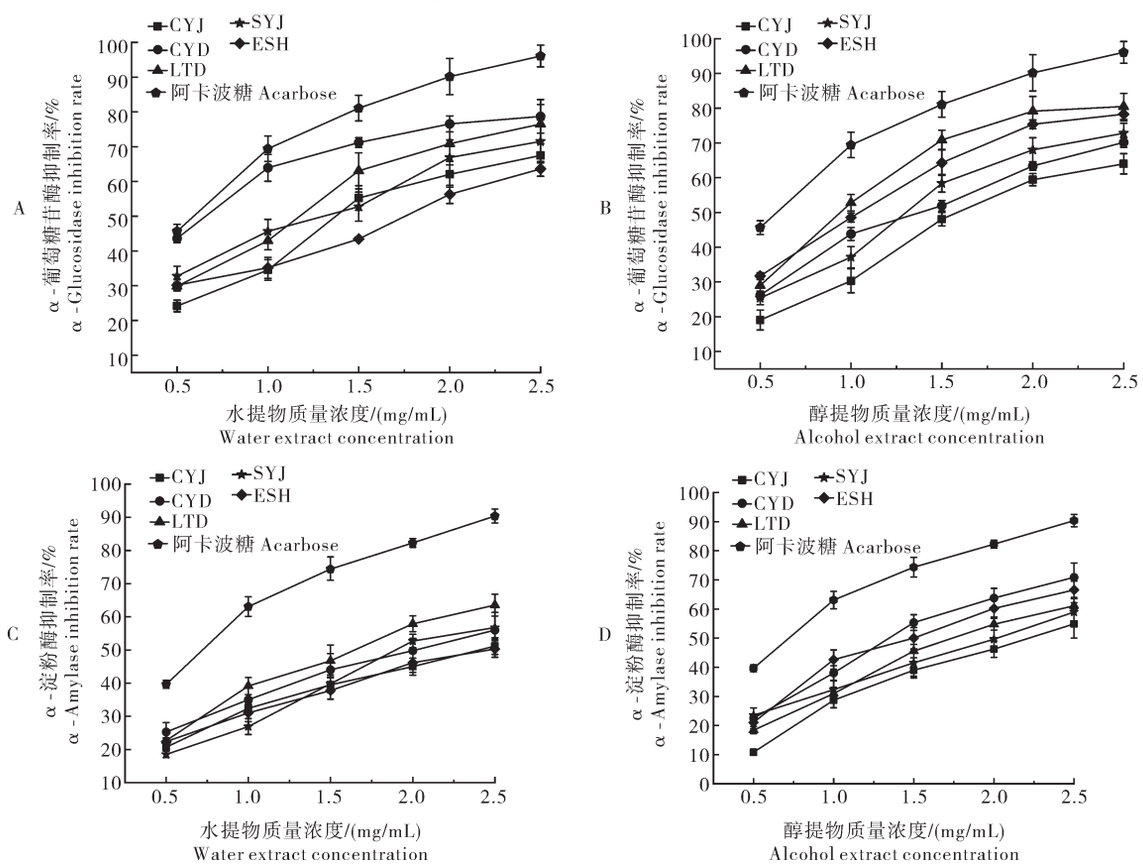
(CYD,8.99%),也挖掘出显著高于文献值[30]的高皂苷种质(ESH,10.97%),体现了地区资源的丰富度与差异化。虽然CYD与LTD多糖含量较高,但是与安徽(11.73%～19.70%)[31]及贵州、四川和广西3个省(自治区)的9批滇黄精(7.16%～27.27%)[32]的高多糖种质相比仍有差距,后续需通过优选高多糖种质及优化栽培技术来提升多糖含量。与上述高多糖型黄精不同,湖北恩施地区黄精具有低多糖、高皂苷的特点,总皂苷含量高达10.97%,显著高于文献报道的11种地理标志黄精的平均水平(2.23%～5.36%)[30],更适合作为提取黄精皂苷的优质原料。各样品的灰分、浸出物及重金属(Pb、Cd、As、Hg、Cu)含量均符合现行药典及食品安全国家标准,且对细胞膜的破

表4　不同提取物对α-葡萄糖苷酶及α-淀粉酶活性抑制率的影响

Table 4　IC_{50} values of the inhibitory rates of the extracts on α-glucosidase and α-amylase activities

mg/mL

样品 Sample	α-葡萄糖苷酶IC_{50} α-Glucosidase inhibitory activity IC_{50}		α-淀粉酶IC_{50} α-Amylase inhibitory activity IC_{50}	
	水提物 Water extract	醇提物 Alcohol extract	水提物 Water extract	醇提物 Alcohol extract
CYJ	1.373±0.091b	1.600±0.003a	2.580±0.046a	2.222±0.053a
CYD	0.607±0.084e	1.247±0.011b	1.996±0.030c	1.304±0.032e
LTD	1.059±0.181d	0.894±0.004e	1.520±0.019d	1.750±0.034c
SYJ	1.110±0.027c	1.203±0.004c	2.028±0.038c	2.006±0.002b
ESH	1.726±0.018a	0.947±0.004d	2.475±0.118b	1.401±0.003d



A,B:α-葡萄糖苷酶 α-Glucosidase;C,D:α-淀粉酶 α-Amylase.

图6　各提取物对α-葡萄糖苷酶及α-淀粉酶的抑制能力

Fig. 6　Inhibitory ability of various extracts against α-glucosidase and α-amylase

表5 黄精重金属元素含量

Table 5 Heavy metal contents of *Polygonatum* mg/kg

元素 Element	CYJ	CYD	LTD	SYJ	ESH
Pb	0.30±0.03a	0.20±0.01b	0.08±0.03c	0.05±0.05c	0.20±0.28b
Cd	0.18±0.01a	0.04±0.01d	0.05±0.01c	0.03±0.01e	0.15±0.01b
As	0.05±0.01c	0.09±0.01a	0.01±0.01d	0.05±0.01c	0.07±0.01b
Cu	3.78±0.24e	4.08±0.05d	4.90±0.12b	9.02±0.11a	4.39±0.15c
Hg	ND	ND	ND	ND	ND

注:ND表示未检出;2020年版《中华人民共和国药典》规定黄精药材中Pb≤5 mg/kg,Cd≤1 mg/kg,As≤2 mg/kg,Hg≤0.2 mg/kg,Cu≤20 mg/kg。Note: ND indicates not detected; the 2020 edition of the *Pharmacopoeia of the People's Republic of China* stipulates that in *Polygonatum* medicinal materials, Pb≤5 mg/kg, Cd≤1 mg/kg, As≤2 mg/kg, Hg≤0.2 mg/kg, and Cu≤20 mg/kg.

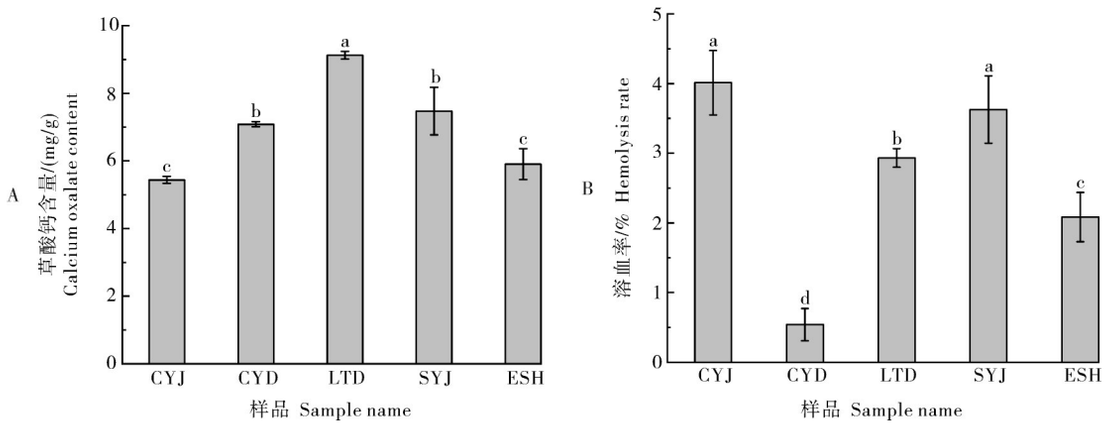


图7 5种生黄精草酸钙含量(A)和红细胞溶血率(B)

Fig. 7 Calcium oxalate content(A) and hemolysis rate(B) of five raw *Polygonatum* species

坏作用均在安全阈值内。

通过非靶向代谢组学方法研究了5个品种黄精的物质差异。CYD与LTD在代谢谱中显著富集阿魏酸、咖啡酸、对香豆酸等游离酚酸及多种黄酮苷类成分,形成了多糖与小分子黄酮、酚酸协同的互补优势。相比之下,ESH与CYJ的碳源更多流向甾体皂苷的合成途径。二者特异性高表达了15种以上的差异皂苷类化合物,这种化学表型的分化,构成了不同种质生物活性差异的物质基础,为差异化开发提供了关键依据。

基于上述物质基础,体外生物活性评价呈现出显著的成分-活性构效依赖性。在抗氧化方面,与文献对比发现5种黄精水提物对DPPH·清除率的IC_{50}(11.43~26.02 mg/mL)弱于安徽、湖南等道地多花黄精样品(IC_{50}通常<5 mg/mL)[33];$ABTS^{+}$·清除能力(251.97~573.55 mg/g)整体高于文献报道的安徽、贵州等地区黄精样品(144.33~341.46 mg/g)[33]。特别是CYD与LTD在高剂量下的清除率优于罗霜等[12]报道的黄精膏水提液(50 mg/mL时清除率为83.8%),且在DPPH·及FRAP抗氧化反应中展现出绝对优势。结合Rice-Evans等[22]的经典构效关系理论,这一优异表现可能归因于其富含的游离酚酸类成分,它们作为高效电子供体,在电子转移型抗氧化反应中发挥了主导作用。

降血糖活性的顺序与抗氧化顺序不同。尽管以ESH为代表的皂苷富集型种质在抗氧化指标上表现不佳,但其醇提物在α-葡萄糖苷酶抑制试验中效果仅次于CYD。这一结果与Deng等[34]的研究高度契合,即黄精属植物中的皂苷类成分主要通过酶抑制及调节糖代谢信号通路发挥降糖作用,而非主要贡献于直接抗氧化活性。CYD水提物对α-葡萄糖苷酶抑制活性显著优于滇黄精多糖(IC_{50}=1.07 mg/mL)[35];与龙杰凤等[36]报道的黄精多糖(8.00 mg/mL下抑制率仅35.55%)相比,本研究中的提取物展现出优异的降糖潜能。

综上所述,LTD在体外抗氧化评价中表现最优,且富含酚酸及黄酮类成分,具有开发为天然抗氧化剂或功能性食品原料的潜力;CYD凭借其高多糖含量(8.99%)及最强的α-葡萄糖苷酶抑制活性,在辅助降血糖相关膳食补充剂的开发中具有一定的应用前景;ESH展现出总皂苷积累优势(10.97%),可作为提取分离甾体皂苷的潜在优质工业原料;SYJ虽活性

表现相对均衡，但其醇溶性浸出物含量最高(81.86%)，表明其原料利用率极高，适合用于开发高浓缩倍数的酊剂或流浸膏等加工制品；而CYJ的总酚含量最高(3.34 mg/g)，可作为富含多酚的营养强化食品原料进行挖掘。

参考文献 References

[1] 封铧.黄精酱加工工艺及品质研究[D].泰安：山东农业大学，2019. FENG H. The research on processing technology and quality of *Polygonatum* Jam.[D]. Tai'an: Shandong Agricultural University, 2019(in Chinese with English abstract).

[2] 国家药典委员会.中华人民共和国药典-四部：2020年版[M].北京：中国医药科技出版社，2020.Chinese Pharmacopoeia Commission.People's republic of China (PRC) pharmacopoeia-part IV: 2020 edition[M].Beijing: China Medical Science Press, 2020(in Chinese).

[3] 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.SONG T L, ZHANG Y, XIAO Q, et al.Research progress on chemical composition and medicinal value of Huangjing (*Polygonatum sibiricum*) [J]. Chinese archives of traditional Chinese medicine, 2024, 42 (11): 119-126 (in Chinese with English abstract).

[4] ZHANG Q H, YANG Z Y, SU W K. Review of studies on polysaccharides, lignins and small molecular compounds from three *Polygonatum* Mill. (*Asparagaceae*) spp. in crude and processed states [J/OL]. International journal of biological macromolecules, 2024, 260: 129511[2026-02-16].https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.129511.

[5] 汪成，叶菊，何旭光，等.黄精化学成分、药理作用研究进展及质量标志物(Q-Marker)预测分析[J].天然产物研究与开发，2024，36(5)：881-899. WANG C, YE J, HE X G, et al. Research progress on chemical components and pharmacological effects of *Polygonati Rhizoma* and prediction analysis of quality marker [J]. Natural product research and development, 2024, 36(5): 881-899(in Chinese with English abstract).

[6] 甄汉深.黄精炮制历史沿革的研究[J].中成药，1989，11(7)：19-20.ZHEN H S.Study on the historical evolution of *Polygonatum sibiricum* processing[J].Chinese traditional patent medicine, 1989, 11(7): 19-20(in Chinese with English abstract).

[7] 黎曙光，王宵，李晖，等.湖北省多花黄精产业发展现状及对策[J].湖北林业科技，2026，55(1)：63-66.LI S G, WANG X, LI H, et al. Current development status and countermeasures of the *Polygonatum cyrtonema* industry in Hubei Province[J]. Hubei forestry science and technology, 2026, 55(1): 63-66(in Chinese with English abstract).

[8] 谢笔钧，何慧.食品分析[M].北京：科学出版社，2009. XIE B J, HE H. Food analysis[M]. Beijing: Science Press, 2009 (in Chinese).

[9] 陶鹏.13种川产黄精化学成分研究分析及黄精多糖代谢关键酶基因的筛选与验证[D].成都：成都中医药大学，2023. TAO P. Analysis of the chemical composition of 13 species of *Polygonatum* from Sichuan and screening and validation of key enzyme genes for polysaccharide metabolism in *Polygonatum*[D]. Chengdu: Chengdu University of TCM, 2023(in Chinese with English abstract).

[10] 黄正花，余应梅，严寒，等.不同种植方式及生长年限的铜鼓多花黄精营养品质分析及其评价体系的构建[J].食品工业科技，2024，45(17)：316-326.HUANG Z H, YU Y M, YAN H, et al. Analysis of nutritional quality of Tonggu *Polygonatum cyrtonema* Hua from different planting ways and growing years and construction of its evaluation system[J]. Science and technology of food industry, 2024, 45(17): 316-326(in Chinese with English abstract).

[11] 陈怡，姚云生，陈松树，等.多花黄精不同龄须根药材质量研究[J].山地农业生物学报，2019，38(6)：61-63. CHEN Y, YAO Y S, CHEN S S, et al. Study on the quality of radix in different ages of *Polygonatum cyrtonema* Hua[J]. Journal of mountain agriculture and biology, 2019, 38(6): 61-63(in Chinese with English abstract).

[12] 罗霜，王剑波，马佳丽，等.响应面法优化黄精膏的水提工艺及体外抗氧化活性的研究[J].华西药学杂志，2024，39(3)：314-320.LUO S, WANG J B, MA J L, et al. Optimization of water extraction process and *in vitro* antioxidant activity of *Polygonati rhizoma* extracts by response surface methodology [J]. West China journal of pharmaceutical sciences, 2024, 39 (3): 314-320(in Chinese with English abstract).

[13] 马娟，张怡雯，董晨阳，等.不同产地黄精的化学成分及体外降血糖功效的比较[J].现代食品科技，2022，38(8)：116-126. MA J, ZHANG Y W, DONG C Y, et al. Comparison of the chemical constituents and *in vitro* hypoglycemic effect of *Polygonatum* from different origins [J]. Modern food science & technology, 2022, 38(8): 116-126(in Chinese with English abstract).

[14] 何军波，贾庆超.模糊数学评价结合响应面法优化黑蒜香菇酱制备工艺及抗氧化活性和储藏分析[J].食品工业科技，2023，44(19)：47-56.HE J B, JIA Q C. Optimization of preparation technology, antioxidant activity and storage analysis of black garlic mushroom paste by fuzzy mathematical evaluation and response surface methodology [J]. Science and technology of food industry, 2023, 44(19): 47-56(in Chinese with English abstract).

[15] 吕世鑫，田潇然，王洪涛，等.西洋参不定根总皂苷的响应面优化提取工艺及抗氧化活性研究[J].食品科技，2019，44(9)：248-254.LÜ S X, TIAN X R, WANG H T, et al. Extracting process and antioxidant activity analysis of total ginsenoside from adventitious roots of *Panax quinquefolius* by response surface methodology [J]. Food science and technology, 2019, 44(9): 248-254(in Chinese with English abstract).

[16] 冯婧,胡娟娟,何先元,等.不同炮制方法对渝产黄精体外抗氧化作用的影响[J].中国药业,2020,29(19):25-30.FENG J,HU J J,HE X Y,et al.Effect of different processing methods on the antioxidant activities *in vitro* of *Polygonatum cyrtonema* Hua in Chongqing[J].China pharmaceuticals,2020,29(19):25-30(in Chinese with English abstract).

[17] 闫峻,冯硕,吴韬,等.亚麻子发芽前后化学成分及抗氧化活性的研究[J].质谱学报,2018,39(1):112-119.YAN J,FENG S,WU T,et al.Chemical constituents and antioxidant activity of flaxseed during germination[J].Journal of Chinese mass spectrometry society,2018,39(1):112-119(in Chinese with English abstract).

[18] DENG Y J,HUANG L X,ZHANG C H,et al.Novel polysaccharide from *Chaenomeles speciosa* seeds:structural characterization,α-amylase and α-glucosidase inhibitory activity evaluation[J].International journal of biological macromolecules,2020,153:755-766.

[19] DUAN M Y,SHANG H M,CHEN S L,et al.Physicochemical properties and activities of comfrey polysaccharides extracted by different techniques[J].International journal of biological macromolecules,2018,115:876-882.

[20] 林莹,刘敬军,徐凌川.泰山黄精炮制前后草酸钙针晶形态及含量变化研究[J].时珍国医国药,2023,34(4):892-894.LIN Y,LIU J J,XU L C.Study on the changes of morphology and content of calcium oxalate crystal before and after processing Mount Tai *Polygonatum sibiricum* Red[J].Lishizhen medicine and materia medica research,2023,34(4):892-894(in Chinese with English abstract).

[21] 林雨,佘亮,魏馨瑶,等.黄精炮制前后的化学成分变化及其减毒增效研究[J].中药材,2021,44(6):1355-1361.LIN Y,SHE L,WEI X Y,et al.Study on chemical constituents,detoxification and synergism of *Polygonati rhizoma* before and after processing[J].Journal of Chinese medicinal materials,2021,44(6):1355-1361(in Chinese with English abstract).

[22] RICE-EVANS C A,MILLER N J,PAGANGA G.Structure-antioxidant activity relationships of flavonoids and phenolic acids[J].Free radical biology and medicine,1996,20(7):933-956.

[23] 郅丽超,张琳依,梁馨元,等.天然活性成分对α-葡萄糖苷酶抑制作用的研究进展[J].食品安全质量检测学报,2021,12(6):2276-2282.ZHI L C,ZHANG L Y,LIANG X Y,et al.Research progress on the inhibitory effect of natural active ingredients on α-glucosidase[J].Journal of food safety and quality,2021,12(6):2276-2282(in Chinese with English abstract).

[24] BASHARY R,VYAS M,NAYAK S K,et al.An insight of alpha-amylase inhibitors as a valuable tool in the management of type 2 diabetes mellitus[J].Current diabetes reviews,2020,16(2):117-136.

[25] RASOULI H,HOSSEINI-GHAZVINI S M,ADIBI H,et al.Differential α-amylase/α-glucosidase inhibitory activities of plant-derived phenolic compounds:a virtual screening perspective for the treatment of obesity and diabetes[J].Food & function,2017,8(5):1942-1954.

[26] 吴皓,钟凌云.天南星科有毒中药刺激性作用比较研究[J].中国中药杂志,2008,33(4):380-384.WU H,ZHONG L Y.Study on irritation of calcium oxalate crystal in Araceae plants[J].China journal of chinese materia medica,2008,33(4):380-384(in Chinese with English abstract).

[27] ASTM International.ASTM F756-17,Standard practice for assessment of hemolytic properties of materials[S].West Conshohocken:Advancing Standards Transforming Markets,2017.

[28] XIA J B,ZHANG C R,ZHU K,et al.Identification of carbohydrate in *Polygonatum sibiricum*:fructo-oligosaccharide was a major component[J].Food quality and safety,2023,7(3):439-446.

[29] LU M,ZHANG L P,KANG S X,et al.Comprehensive evaluation of the nutritional properties of different germplasms of *Polygonatum cyrtonema* Hua[J/OL].Foods,2024,13(6):815[2026-02-16].https://doi.org/10.3390/foods13060815.

[30] 任晋乐,栾明宝,邓欣,等.11种地理标志黄精活性成分及其抗氧化活性分析[J].浙江林业科技,2023,43(6):39-44.REN J L,LUAN M B,DENG X,et al.Active ingredients and antioxidant activity of *Polygonatum* spp. *rhizome* with 11 geographical indications[J].Journal of Zhejiang forestry science and technology,2023,43(6):39-44(in Chinese with English abstract).

[31] 刘恒.九华黄精质量评价研究及其标准建立[D].合肥:安徽中医药大学,2024.LIU H.Research on quality evaluation and establishment of quality standard of Jiuhua-Huangjing[D].Hefei:Anhui University of Chinese Medicine,2024(in Chinese with English abstract).

[32] 马琴,郭思潍,杜强,等.不同产地滇黄精高效液相色谱法指纹图谱的建立及其多糖含量测定[J].贵州医科大学学报,2024,49(3):381-388.MA Q,GUO S W,DU Q,et al.Establishment of high performance liquid chromatography fingerprint and determination of polysaccharide content in *Polygonatum kingianum* from different origins[J].Journal of Guizhou Medical University,2024,49(3):381-388(in Chinese with English abstract).

[33] 罗霜,王剑波,陈柯宇,等.不同产地药食同源黄精的成分及体外抗氧化研究[J].中国调味品,2023,48(6):59-65.LUO S,WANG J B,CHEN K Y,et al.Study on the components and *in vitro* antioxidation of medicine-food homologous rhizoma polygonati from different places of origin[J].China condiment,2023,48(6):59-65(in Chinese).

[34] DENG Y F,HE K,YE X L,et al.Saponin rich fractions from *Polygonatum odoratum* (Mill.) Druce with more potential hypoglycemic effects[J].Journal of ethnopharmacology,2012,

141(1):228-233.

[35] 廖谦,梁正维,寸竹,等.滇黄精多糖提取工艺优化及体外抗氧化和降血糖活性分析[J].南方农业学报,2025,56(3):874-886. LIAO Q,LIANG Z W,CUN Z,et al.Optimization of polysaccharide extraction process from *Polygonatum kingianum* Collett & Hemsl. and analysis of *in vitro* antioxidant and hypoglycemic activities [J]. Journal of southern agriculture, 2025,56(3):874-886(in Chinese with English abstract).

[36] 龙杰凤,陈文经,李金巧.黄精多糖提取工艺及降糖活性研究[J].亚太传统医药,2024,20(4):49-53.LONG J F,CHEN W J,LI J Q.Research on extraction process and hypoglycemic activity of *Polygonatum sibiricum* polysaccharides [J]. Asia-Pacific traditional medicine, 2024, 20(4): 49-53(in Chinese with English abstract).

Chemical composition and *in vitro* functional activities of different *Polygonatum* varieties from Hubei Province

TIAN Xin[1],ZHANG Huan[1],MA Zhaocheng[2],LI Xiujuan[1]

1.*College of Food Science and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China*;
2.*College of Public Health, Wuhan University, Wuhan 430072, China*

Abstract The main chemical components, bioactive ingredients, metabolites, and i*n vitro* functional activities of five *Polygonatum* varieties including Chongyang Duohua *Polygonatum* (CYD), Chongyang Jitou *Polygonatum*(CYJ), Luotian Duohua *Polygonatum*(LTD), Shiyan Zigan Jitou *Polygonatum*(SYJ), and Enshi Huang′en No.1(ESH) were systematically evaluated to elucidate the characteristics of quality and differential utilization value of *Polygonatum* germplasm resources in Hubei Province. The results showed that five varieties had nutritional characteristics of low starch (0.33%-1.49%), low fat (0.36%-0.76%), low reducing sugar (0.97%-5.44%), and high protein (9.03%-10.47%). The content of alcohol-soluble extracts, polysaccharides, and saponins was 73.34%-81.86%, 5.05%-8.99%, and 3.17%-10.97%, respectively. Among them, the content of polysaccharide in CYJ and ESH did not meet the requirements of the pharmacopoeia (7%), while the content of saponin in ESH was much higher than the values reported in the literature. CYD and LTD were enriched in polysaccharides, flavonoids and phenolic acids, while ESH and CYJ had high expression of steroidal saponins, presenting two different metabolic pathways of accumulating polysaccharide-phenolic acid and saponin-lipid. The content of heavy metals and the rate of hemolysis in all samples were in line with safety standards. The antioxidant activity in the five varieties was dominated by hydrophilic components, with LTD performing the best. The water extract of CYD had the strongest inhibitory activity against α-glucosidase (IC_{50}=0.61 mg/mL), while the alcohol extract of CYD had the strongest inhibitory activity against α-amylase (IC_{50}=1.30 mg/mL), and these functional activities were higher than some values reported in the literature. It is indicated that the germplasm resources of *Polygonatum* in Hubei Province are rich and have diverse functions. It will provide a theoretical basis for breeding variety and developing product of *Polygonatum* in Hubei Province.

Keywords *Polygonatum sibiricum*; polysaccharides; saponins; food and medicine; characteristics of quality; bioactivity; untargeted metabolomics

(责任编辑:陆文昌)