

研究报告

DOI:10.14188/j.ajsh.20260112001

不同产地生地黄主要成分与抗氧化活性评价

夏提古丽·阿不利孜¹, 那非沙·哈力买买提^{1,2}, 马丽云³, 段燕燕¹, 朱 军^{1*}

- (1. 新疆维吾尔自治区药物研究院国家中医药管理局新疆中药民族药资源重点研究室,
新疆中药资源研究与开发重点实验室, 新疆 乌鲁木齐 830010;
2. 新疆医科大学 中医学院, 新疆 乌鲁木齐 830017;
3. 新疆华世丹药业股份有限公司, 新疆 乌鲁木齐 830011)

摘要: 分析不同产地地黄主要化学成分及体外抗氧化活性差异, 为其药材质量评价及资源合理开发利用提供依据。采用 HPLC-PDA 法测定 16 批地黄中梓醇、地黄苷 D、毛蕊花糖苷及松果菊苷的含量; 通过 DPPH 和 ABTS 自由基清除实验评价其体外抗氧化活性, 结合聚类分析、主成分分析及 Pearson 相关性分析探讨化学成分与抗氧化活性的关联。结果显示不同产地地黄样品化学成分差异显著。梓醇含量最高的为新疆从山西临汾引种样品 (31.021 mg/g), 地黄苷 D 含量最高的为河南焦作样品 (5.633 mg/g), 松果菊苷和毛蕊花糖苷含量最高的分别为新疆从山西曲沃县引种样品 (0.509 mg/g) 及新疆从山西保德引种样品 (1.352 mg/g)。新疆从山西曲沃县引种样品抗氧化活性最强 (DPPH IC_{50} 为 8.97 mg/mL, ABTS IC_{50} 为 5.29 mg/mL)。相关性分析表明, 松果菊苷含量与 DPPH 自由基清除能力 (IC_{50}) 呈显著负相关 ($P < 0.05$), 提示其为关键抗氧化成分。新疆引种地黄在特定化学成分积累及综合抗氧化活性方面表现出独特优势, 本研究为地黄的质量评价、产地优选及关键质量标志物的确定提供了科学依据。

关键词: 生地黄; 产地; 含量测定; 抗氧化活性; 化学计量学; 谱效关系

中图分类号: R284.1

文献标志码: A

文章编号: 2096-3491(2026)02-0188-08

Comparative analysis of main components and *in vitro* antioxidant activities of *Rehmannia glutinosa* Libosch. from different habitats

XIATIGULI·Abulizi¹, NAFEISHA·Halimaimaiti^{1,2}, MA Liyun³, DUAN Yanyan¹, ZHU Jun^{1*}

- (1. Xinjiang Institute of Materia Medica, Xinjiang Key Laboratory of Chinese Materia Medica and Ethnic Materia Medica, Xinjiang Key Laboratory of Traditional Chinese Medicine Resources Research and Development, Urumqi 830010, Xinjiang, China;
2. College of Traditional Chinese Medicine, Xinjiang Medical University, Urumqi 830017, Xinjiang, China;
3. Xinjiang Huashidan Pharmaceutical Research Co. Ltd., Urumqi 830011, Xinjiang, China)

Abstract: To investigate the differences in main chemical components and *in vitro* antioxidant activity of *Rehmannia glutinosa* Libosch. from different geographical origins, and to provide a basis for the quality evaluation and rational utilization of its medicinal resources. The contents of catalpol, rehmannioside D, verbascoside, and echinacoside in 16 batches of *Rehmannia glutinosa* Libosch. were determined by HPLC-PDA. The antioxidant activities were evaluated by DPPH

收稿日期: 2026-01-12 修回日期: 2026-02-12 接受日期: 2026-04-15

作者简介: 夏提古丽·阿不利孜(1984-), 女, 硕士, 副高, 从事中药学研究, E-mail: 369572138@qq.com

*通信作者: 朱军(1982-), 男, 研究员, 从事中药学研究, E-mail: 285362468@qq.com

基金项目: 兵团科技计划(2023AB018-04); “天山英才”高层次人才培养计划(TSYC202401B177); 新疆维吾尔自治区“两区”项目(2025LQ03018)

引用格式: 夏提古丽·阿不利孜, 那非沙·哈力买买提, 马丽云, 等. 不同产地生地黄主要成分与抗氧化活性评价[J]. 生物资源, 2026, 48(2): 188-195.

Xitiguli·Abulizi, Nafeisha·Halimaimaiti, Ma L Y, et al. Comparative analysis of main components and *in vitro* antioxidant activities of *Rehmannia glutinosa* Libosch. from different habitats [J]. Biotic Resources, 2026, 48(2): 188-195.

and ABTS free radical scavenging assays. The relationship between chemical components and antioxidant activity was explored by combining cluster analysis (HCA), principal component analysis (PCA), and Pearson correlation analysis. Results showed that there were significant differences in the chemical composition of samples from different origins. The highest content of catalpol (31.021 mg/g) was found in samples introduced from Linfen, Shanxi to Xinjiang. The highest content of rehmannioside D (5.633 mg/g) was in samples from Jiaozuo, Henan. The highest contents of echinacoside (0.509 mg/g) and verbascoside (1.352 mg/g) were in samples introduced from Quwo County and Baoyan, Shanxi to Xinjiang, respectively. Samples introduced from Quwo County, Shanxi to Xinjiang exhibited the strongest antioxidant activity (DPPH IC_{50} 8.97 mg/mL, ABTS IC_{50} 5.29 mg/mL). Correlation analysis indicated that the content of echinacoside was significantly negatively correlated with the DPPH IC_{50} value ($P < 0.05$), suggesting it as a key antioxidant component. In summary, the introduced *Rehmannia glutinosa* Libosch. in Xinjiang exhibits unique advantages in terms of specific chemical component accumulation and comprehensive antioxidant activity. This study provides a scientific basis for the quality evaluation, origin selection, and identification of key quality markers of *Rehmannia glutinosa* Libosch.

Key words: *Rehmannia glutinosa* Libosch.; geographical origin; content determination; antioxidant activity; chemometrics; spectrum-effect relationship

0 引言

地黄为玄参科(Scrophulariaceae)地黄属植物地黄(*Rehmannia glutinosa* Libosch.)的新鲜或干燥块根^[1],是中国药食同源的大宗常用药材之一^[2-3]。有鲜地黄(简称鲜地)、生地黄(简称生地)和熟地黄(简称熟地)3种饮片规格。《神农本草经》中记载:“干地黄,味甘寒,主治折跌绝筋,伤中,逐血痹,填骨髓,长肌肉^[4]。《中国药典》2025年版记载生地黄的功效为味甘性寒,清热凉血,养阴生津,主治热入营血、阴虚发热、津伤便秘等;熟地性微温,具有滋阴补血、益精填髓之效,常用于血虚萎黄、月经不调、崩漏下血之症^[3]。至今,地黄仍是众多经典方剂与汤剂中的重要组成,在临床上广泛应用^[5]。

现代研究表明,地黄的药理活性与其所含的多种化学成分密切相关,主要包括环烯醚萜苷类、苯乙醇苷类、糖类以及紫罗兰酮类等^[6-8];其中,环烯醚萜苷类成分具有抗炎、抗氧化、保肝、抗抑郁改善心肌缺血、抑制骨质流失等多重作用^[9-12];苯乙醇苷类成分在抗炎、降血脂、免疫调节及抗氧化方面表现显著^[13];糖类成分则与抗肿瘤、抗氧化、抗衰老及增强免疫等功能相关;紫罗兰酮类化合物亦显示出抗肿瘤潜力^[14-15]。这些活性成分共同构成了地黄发挥药效的物质基础。其“清热凉血、养阴生津”的传统功效与现代医学中的抗氧化防御、清除自由基等机制高度契合;同时,中药材的“道地性”特征决定了产地环境对化学成分积累及药效发挥的关键影响,而抗氧化活性作为多类成分协同作用的综合体现,能够客观表征不同产地生地黄的功效差异。

因此,为系统评价不同产地地黄的品质差异,本研究选取16批不同来源的地黄样品,采用高效液相色谱法(high performance liquid chromatography,

HPLC)定量分析其中梓醇、地黄苷D、毛蕊花糖苷及松果菊苷4种关键活性成分的含量;并通过DPPH与ABTS自由基清除实验综合评价其体外抗氧化活性。进一步结合层次聚类分析(hierarchical cluster analysis,HCA)与Pearson相关性分析等化学计量学的方法,探讨化学成分与抗氧化活性之间的内在关联,旨在构建多指标质量评价体系,明确影响地黄抗氧化功能的关键质量标志物,为其资源合理开发利用与标准化生产提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试剂与仪器

Waters e2695型高效液相色谱仪(美国Waters公司);CX-100高速多功能粉碎机(上海绿沃工贸有限公司);Multiskan GO 1510型酶标仪(美国赛默飞世尔科技公司);KQ5200DA型数控超声波清洗器(昆山市超声仪器有限公司);Hereaus Megafuge8R型高速冷冻离心机(德国热电子LED有限公司);AB265-S型十万分之一电子天平(美国梅特勒)。

1.2 实验材料

地黄苷D(批号:112063-202304)、梓醇(批号:110808-202313)、松果菊苷(批号:111670-201907)、毛蕊花糖苷(麦角甾苷)(批号:111530-202315),对照品均购自中国食品药品检定研究院;甲醇、乙腈均为色谱纯;其余试剂均为分析纯;水为怡宝应用纯净水(华润怡宝饮料有限公司)。16批地黄样品来源信息见表1,样品于60℃减压烘24h至干,粉碎,过四号筛,备用。

1.3 含量测定

1.3.1 色谱条件

(1)环烯醚萜苷类成分(梓醇、地黄苷D)测定:

表1 不同产地地黄样品来源
Table 1 Sample information

编号	产地来源(新疆引种)	采编批号	编号	产地来源(原产地)	采编批号
S1	山西襄汾	DH100201	S8	河北安国	XL20250509
S2	山西赵县	DH100210	S9	河北安国	XL20250508
S3	山西洪洞	DH100200	S10	河北安国	XL20250507
S4	山西临汾	DH100203	S11	河南焦作	XL20250506
S5	山西保德	DH100207	S12	河南焦作	XL20250505
S6	山西曲沃	DH100209	S13	河南焦作	XL20250504
S7	山西曲沃	DH100207	S14	山东菏泽	XL20250501
—	—	—	S15	山东菏泽	XL20250502
—	—	—	S16	山东菏泽	XL20250503

色谱柱为CaprisilC18-B(250 mm×4.6 mm,5 μm);流动相为甲醇(C)-0.1%磷酸(B),等度洗脱13:87;流速为1.0 mL/min;检测波长为210 nm;柱温为25℃;进样量为10 μL。

(2)苯乙醇苷类成分(毛蕊花糖苷、松果菊苷)测定。色谱柱同前;流动相为乙腈(A)-0.1%磷酸水溶液(B);梯度洗脱程序:0~10 min,13%A;10~11 min,13%~15%A;11~21 min,15%~17%A;21~51 min,17%~30%A;51~76 min,30%~13%A;76~86 min,13%A;流速为1.0 mL/min;检测波长为330 nm;柱温为25℃;进样量为10 μL。

1.3.2 对照品溶液的制备

分别精密称取梓醇、地黄苷D、毛蕊花糖苷、松果菊苷对照品适量,用25%甲醇溶解并定容,分别制成浓度约为0.44、0.31、0.56、0.60 mg/mL的单一或混合对照品储备液。

1.3.3 供试品溶液制备

精密称定地黄粉末1.0 g,置具塞锥形瓶中,精密加入25%甲醇25 mL,称重,超声(功率280 W,频率40 kHz)提取60 min,冷却后用25%甲醇补足失重,离心(8 000 rpm,10 min),上清液经0.22 μm微孔滤膜滤过,取续滤液,备用。

1.4 体外抗氧化活性

(1)DPPH 自由基清除能力测定。精密称取样品粉末5份,分别加入1 mL的提取液后置于40℃水浴锅中浸提30 min;10 000 rpm室温离心10 min,取上清,分别制备成浓度为4、8、16、32、64 mg/mL的溶液置于冰上待测。参照试剂盒方法在EP管中分别制备测定管、空白管和对照管,涡旋混匀,常温避光静止30 min,再置于96孔板中,于517 nm下测定吸光度,根据如下公式计算DPPH自由基清除率:

$$\text{DPPH 自由基清除率} = (A_0 - A_1 + A_2) / A_0 \quad (1)$$

式中, A_0 为空白管吸光度; A_1 为测定管吸光度; A_2 为

照管吸光度。

(2)ABTS 自由基清除能力测定。精密称取样品粉末5份,分别加入1 mL的提取液后置于40℃水浴锅中浸提30 min;10 000 rpm室温离心10 min,取上清,分别制备成浓度为4、8、16、32、64 mg/mL的混合液置于冰上待测。参照试剂盒方法在EP管中分别制备测定管、空白管、对照管,涡旋混匀,常温避光静止6 min,再置于96孔板中,于405 nm下测定吸光度,根据如下公式计算ABTS自由基清除率:

$$\text{ABTS 自由基清除率} = (A_0 - A_1 + A_2) / A_0 \quad (2)$$

1.5 数据处理

含量测定数据采用国家药典委员会发布的官方专用软件辅助处理^[16]。化学计量学分析采用SIM-CA 14.1软件进行主成分分析(PCA)、聚类分析(HCA)。采用SPSS 20.0进行单因素方差分析,相关性分析采用SPSS 20.0软件进行肯德尔(Kendall)检验。绘图使用科研绘图云平台(<https://cloud.metware.cn>)。所有实验平行测定3次,结果以平均值±标准差表示。

2 结果与分析

2.1 HPLC 含量测定方法学考察

2.1.1 精密度考察

取对照品溶液,在色谱条件下连续进样6次,计算得梓醇、地黄苷D的RSD分别为1.06%、0.33%,表明仪器精密度良好。同样取对照品溶液,在色谱条件下连续进样6次,计算得松果菊苷、毛蕊花糖苷的RSD分别为0.89%、0.29%,表明仪器精密度良好。

2.1.2 线性关系考察

精密吸取混合对照品溶液适量,用25%甲醇逐级稀释后进样测定,以对照品溶液的浓度为横坐标,峰面积为纵坐标,进行线性回归,结果显示梓醇、地黄苷D、松果菊苷和毛蕊花糖苷分别在0.03~0.44、

0.02~0.31、0.03~0.56、0.04~0.60 mg/mL 范围内线性关系良好,结果见表2。

2.1.3 稳定性试验

取S5样品制备供试品溶液,分别在0、2、4、8、12、24 h按色谱条件进样,计算得梓醇、地黄苷D峰面积的RSD分别为2.23%、1.94%、表明供试品溶液在24 h内稳定性好。

取S5样品制备供试品溶液,分别在0、2、4、8、12、24 h按项下的色谱条件进样,计算得松果菊苷、毛蕊花糖苷峰面积的RSD分别为1.93%、4.81%,表明供试品溶液中松果菊苷在24 h内稳定性好,毛蕊花糖苷在24 h内稳定性不是很好。

2.1.4 重复性试验

精密称取S5样品制备6份供试品溶液,按色谱条件进样,计算得到梓醇、地黄苷D的RSD分别为1.07%、0.96%,表明该方法重复性好。同样的方法计算得到松果菊苷、毛蕊花糖苷的RSD分别为0.74%、2.41%,表明该方法重复性好。

2.1.5 加样回收率试验

精密称取已知含量的S5样品粉末6份,每份称定0.5 g,分别加入对照品梓醇、地黄苷D,按§1.3.3的方法制备供试品溶液,按色谱条件进样,测得地黄样品中2种成分平均回收率及RSD值,得平均回收率分别为98.78%、99.31%,RSD分别为0.55%、1.81%。

另精密称取已知含量的S5样品粉末6份,每份称定1.0 g,分别加入对照品松果菊苷、毛蕊花糖苷,按§1.3.3的方法制备供试品溶液,按色谱条件进样,测得地黄样品中2种成分平均回收率及RSD值,得平均回收率分别为105.37%、84.44%,RSD分别为1.58%、2.90%。表明该方法测定准确、可靠。混合对照品和供试品HPLC图见图1。

2.2 含量测定

16批次地黄样品中4种指标成分的含量测定结果见表3。分析显示,不同产地地黄化学成分含量差异显著($P<0.05$)。其中,梓醇含量最高者为新疆从山西临汾引种样品(S4,31.021 mg/g);地黄苷D含量最高者为河南焦作样品(S13,5.633 mg/g);

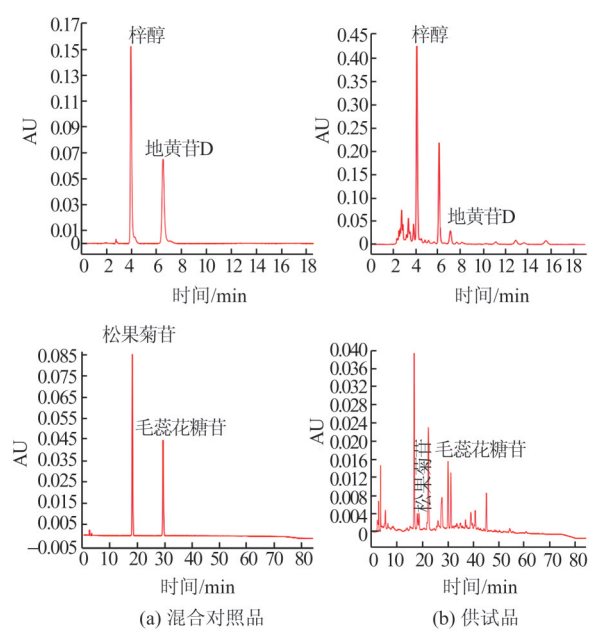


图1 混合对照品和供试品的HPLC色谱图
Figure 1 HPLC chromatograms of mixed reference and test samples

松果菊苷和毛蕊花糖苷含量最高者分别为新疆从山西曲沃县引种样品(S6,0.509 mg/g)及新疆从山西保焉引种样品(S5,1.352 mg/g)。直观分析显示,不同化学成分在不同产地的积累模式各异,表明产地是影响地黄化学成分累积的关键因素,结果见表3。

2.3 聚类分析(HCA)与主成分分析(PCA)

以4种成分含量为变量进行聚类分析(HCA),结果如图2所示。在类间距为10时,16批样品可大致分为两大类:第一类主要包括河南焦作及河北安国产地的样品(S8~S16),此类样品普遍具有较高的地黄苷D含量;第二类主要为新疆从山西各地引种的样品(S1~S7),此类样品在梓醇、松果菊苷或毛蕊花糖苷等成分上具有优势。HCA结果直观反映了不同产地样品在化学组成上的亲疏关系^[17-18]。

主成分分析(PCA)显示,前两个主成分的累计方差贡献率为71.5%(PC1:44.7%,PC2:26.8%),能够代表原始数据大部分信息。PCA得分图显示,不同产地来源的样品在二维空间中呈现明显的分离趋势,其中新疆引种样品(S1~S7)多分布于图的左

表2 地黄中4个成分的线性关系考察结果

Table 2 Results of linear relationship investigation for the four components in <i>Rehmannia glutinosa</i>			
成分	回归方程	R^2	线性范围/($\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$)
梓醇	$Y=2\,898.5X+6\,871$	0.999 8	27.50~440.00
地黄苷D	$Y=2\,996.4X-9\,274.6$	0.999 6	19.38~301.00
松果菊苷	$Y=13\,193X-32\,990$	0.999 9	34.86~558.00
毛蕊花糖苷	$Y=17\,147X-90\,667$	0.999 8	37.75~604.00

表3 不同产地地黄中指标成分的含量测定结果/(mg·g⁻¹)
Table 3 Determination results of indicator components in *Rehmannia glutinosa* from different origins/(mg·g⁻¹)

编号	梓醇	地黄苷D	松果菊苷	毛蕊花糖苷
S1	23.486 ± 0.027	2.893±0.027	0.217 ± 0.002	0.522 ± 0.003
S2	25.179 ± 0.004	2.543±0.005	0.097 ± 0.002	1.186 ± 0.024
S3	24.037 ± 0.542	2.743±0.130	0.175 ± 0.002	0.779 ± 0.005
S4	31.021 ± 0.100	3.030±0.126	0.119 ± 0.003	1.146 ± 0.024
S5	23.498 ± 0.011	2.738±0.018	0.249 ± 0.001	1.352 ± 0.010
S6	29.183 ± 0.209	3.159±0.016	0.509 ± 0.003	0.199 ± 0.002
S7	21.180 ± 0.071	2.434±0.065	0.392 ± 0.006	0.781 ± 0.004
S8	25.325 ± 0.048	4.067±0.150	0.070 ± 0.001	0.212 ± 0.002
S9	24.724 ± 0.049	4.288±0.235	0.081 ± 0.002	0.462 ± 0.002
S10	25.610 ± 0.521	4.527 ± 0.110	0.072 ± 0.001	0.500 ± 0.003
S11	27.675 ± 0.746	4.219 ± 0.189	0.071 ± 0.001	0.295 ± 0.018
S12	25.462 ± 0.028	5.275 ± 0.173	0.065 ± 0.002	0.182 ± 0.001
S13	23.221 ± 0.087	5.633 ± 0.058	0.077 ± 0.002	0.941 ± 0.003
S14	19.767 ± 0.040	4.161 ± 0.070	0.075 ± 0.001	0.466 ± 0.035
S15	25.654 ± 0.027	4.208 ± 0.036	0.068 ± 0.003	0.192 ± 0.002
S16	26.189 ± 0.193	3.670 ± 0.174	0.067 ± 0.002	0.293 ± 0.014

侧区域,而传统产区(河南、河北、山东)样品(S8~S16)多分布于右侧及上部区域,进一步证实了产地因素对地黄整体化学特征具有显著影响。

2.4 体外抗氧化活性评价

16批地黄样品的DPPH及ABTS自由基清除能力以IC₅₀值表示(表4及图3)。抗氧化活性差异显著,IC₅₀值越低,表明抗氧化能力越强。其中,新疆从山西曲沃县引种的样品(S6)表现出最强的综合抗氧化活性,其DPPH IC₅₀值为8.97 mg/mL,ABTS IC₅₀值为5.29 mg/mL。而部分样品(如S14)的抗氧化活性相对较弱。阳性对照抗坏血酸的IC₅₀值远低于样品,表明地黄提取物虽具抗氧化能力,但强度不及纯抗氧化剂。

2.5 化学成分与抗氧化活性的相关性分析

采用肯德尔相关性检验分析4种化学成分含量与抗氧化活性(IC₅₀值)之间的关联,见表5。松果菊苷的含量与DPPH自由基清除能力(IC₅₀-DPPH)呈显著负相关($P<0.05$),即松果菊苷含量越高,DPPH自由基清除能力越强(IC₅₀值越小)。此外,松果菊苷与毛蕊花糖苷含量呈极显著正相关($P<0.01$),而地黄苷D与松果菊苷含量之间呈显著负相关($P<0.05$),提示地黄中不同次级代谢产物之间的积累可能存在一定的相互调控或竞争关系。

3 讨论

本研究系统比较了不同产地地黄中4种主要活

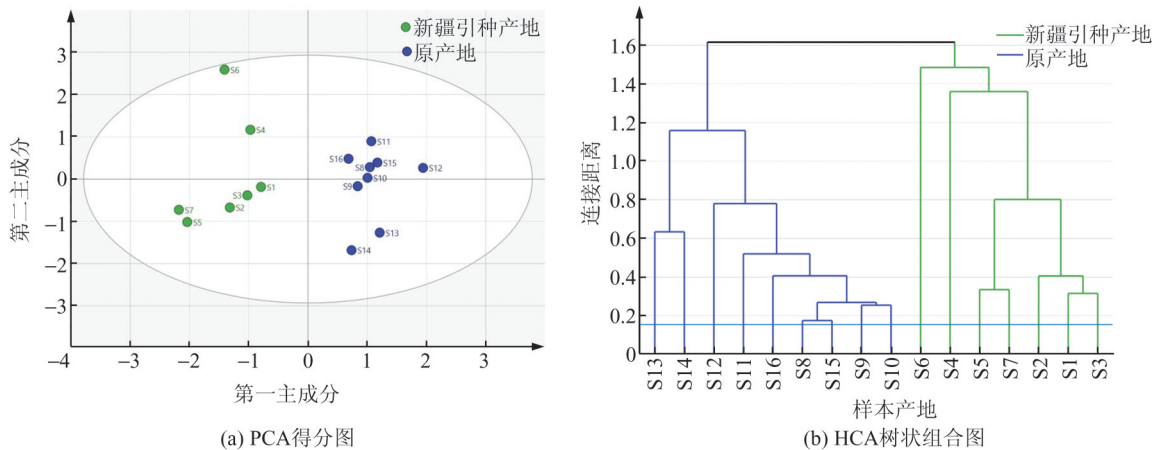


图2 不同产地地黄样品的PCA得分与HCA树状组合图
Figure 2 PCA score plot and HCA dendrogram of *Rehmannia glutinosa* samples from different origins

表 4 生地黄体外抗氧化试验 IC₅₀ (n=3)
Table 4 IC₅₀ values of *in vitro* antioxidant tests for *Rehmannia glutinosa* (n=3)

编号	DPPH/(mg·mL ⁻¹)	ABTS/(mg·mL ⁻¹)	编号	DPPH/(mg·mL ⁻¹)	ABTS/(mg·mL ⁻¹)
S1	33.83±2.15	10.50±8.89	S9	36.32±2.41	9.46±0.76
S2	30.26±1.98	34.41±2.76	S10	29.44±1.93	9.15±0.73
S3	17.00±1.21	16.63±1.33	S11	31.34±2.05	6.04±0.53
S4	33.67±2.14	14.14±1.12	S12	35.48±2.36	8.87±0.71
S5	24.79±1.62	11.17±0.94	S13	17.13±1.23	11.31±0.91
S6	8.97±0.72	5.29±0.49	S14	51.52±3.42	13.52±1.08
S7	23.41±1.53	9.05±0.75	S15	37.84±2.52	15.20±1.23
S8	32.98±2.10	15.43±1.23	S16	26.76±1.78	14.27±1.15
阳性对照	0.17	81.37	阳性对照	0.17	81.37

表 5 化学成分含量与抗氧化活性的肯德尔相关性分析
Table 5 Kendall correlation analysis between chemical component contents and antioxidant activities

指标	梓 地 黄 醇 苷 D	松果菊苷	毛蕊花糖 苷	IC ₅₀ -DPP H	IC ₅₀ -AB TS	
梓醇	1	0.067	-0.233	-0.283	0	-0.150
地黄苷 D		1	0.433*	-0.35	0.200	-0.217
松果菊苷			1	0.483**	-0.367*	-0.117
毛蕊花糖苷				1	-0.217	0.200
IC ₅₀ -DPPH					1	0.050
IC ₅₀ -ABTS						1

注：*P<0.05,**P<0.01。
note：*P<0.05,**P<0.01。

性成分的含量及其体外抗氧化活性,并运用多元统计方法揭示了其内在联系。

3.1 产地因素对地黄化学成分积累的影响

不同产地地黄化学成分的显著差异主要归因于产地环境的影响。本研究结果显示,传统道地产区河南焦作的样品以高含量的地黄苷 D 为特征,这与

其悠久的栽培历史和适宜的生长环境(土壤、气候)相符^[19-20]。引人注目的是,新疆引种的地黄样品在梓醇、松果菊苷及毛蕊花糖苷等成分上展现出独特的优势,尤其是山西曲沃引种至新疆的样品(S6),其松果菊苷含量显著高于其他样品。新疆地区干旱少雨、日照时间长、昼夜温差大的气候条件,可能形成了一种环境胁迫,从而激活了植物体内特定的次生代谢途径,促进了苯乙醇苷类等防御性化合物的合成与积累^[21-22]。HCA 和 PCA 分析均从整体化学模式上成功地将新疆引种样品与传统产区样品区分开,进一步证实了产地是导致地黄化学特征差异的关键因素。此外,不同产地的土壤养分(如矿物质、有机质含量)差异也可能通过影响植物的代谢过程,导致成分含量的差异。

3.2 地黄抗氧化活性的物质基础与其关键成分

自由基是导致氧化应激和细胞损伤的主要原因,而清除自由基是许多中药发挥功效的机制之一^[23]。本研究抗氧化活性评价显示,不同产地地黄的抗氧化能力存在显著差异,其中新疆曲沃县引种

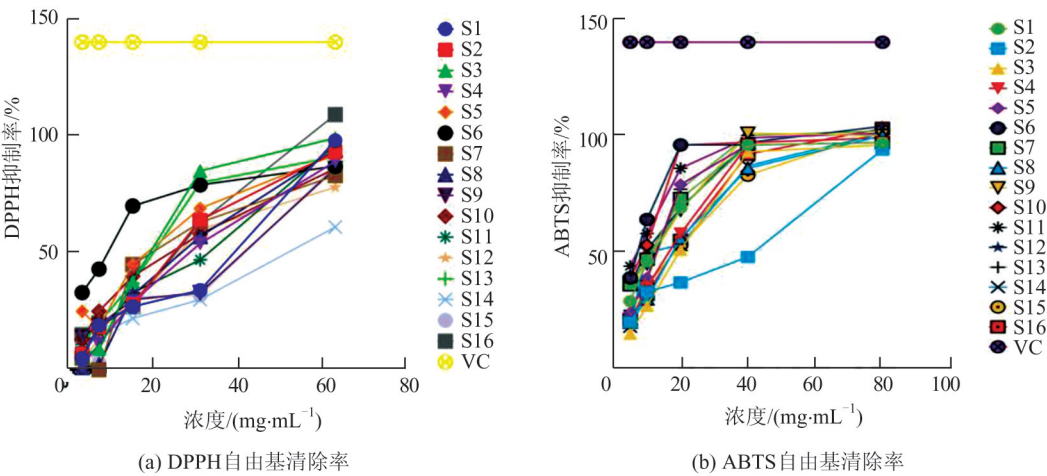


图 3 ABTS 与 DPPH 评估不同产地地黄抗氧化能力
Figure 3 Antioxidant activities of *Rehmannia glutinosa* from various habitats assessed by DPPH and ABTS assays

样品(S6)展现出最强的抗氧化活性。相关性分析指出,松果菊苷的含量与DPPH自由基清除能力呈显著负相关,提示松果菊苷是贡献地黄抗氧化活性的关键成分之一。这与已有研究报道一致,松果菊苷作为一种强效的苯乙醇苷类抗氧化剂,其分子中的酚羟基能有效清除自由基。吕冉冉等^[24]的研究也发现,松果菊苷(ECH)可通过其抗氧化作用来改善神经细胞损伤。同时,梓醇也是已知的具有抗氧化作用的环烯醚萜类成分,能通过清除自由基、减轻氧化损伤来发挥作用^[15,23]。在本研究中,虽然梓醇含量与抗氧化活性的直接相关性未达显著水平,但抗氧化活性最强的样品S6同时具有最高的松果菊苷含量和较高的梓醇含量,这提示在地黄复杂的提取物体系中,其整体抗氧化活性可能是松果菊苷、梓醇等多种活性成分共同作用、甚至协同增效的结果,而非单一成分决定。

3.3 对地黄资源利用与质量评价的启示

本研究结果表明,新疆引种的地黄,特别是从山西曲沃引种的品系,在特定活性成分(如松果菊苷)的富集和综合抗氧化活性方面具有显著潜力,这为拓宽地黄优质产区、保障药材资源供给提供了新的思路 and 选择。在质量评价方面,除《中国药典》现有指标外,本研究提示松果菊苷等苯乙醇苷类成分的含量及其与抗氧化活性的关联值得关注,可作为评价地黄抗氧化相关药效潜力的补充指标。

综上所述,不同产地地黄的化学特征与抗氧化活性差异显著,新疆引种地黄表现出独特的成分积累优势。松果菊苷是关联其抗氧化活性的关键成分之一。本研究结合多成分化学分析与多种化学计量学方法,为地黄的产地鉴别、质量综合评价及资源合理开发提供了数据支持和理论参考。

参考文献

- [1] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典:一部[M]. 北京:中国医药科技出版社, 2025.
National Pharmacopoeia Committee People's Republic of China (PRC) Pharmacopoeia: Part I [M]. Beijing: China Medical Science and Technology Press, 2025.
- [2] 谢海生,周欣欣,刘茜茜,等. 四大怀药非药用部位现代研究特点分析[J]. 世界中医药, 2025, 20(1): 174-180.
Xie H S, Zhou X X, Liu Q Q, et al. Research progress on the non-medicinal parts of the four major Huai medicines [J]. World Chinese Medicine, 2025, 20(1): 174-180.
- [3] 刘超群,任越,张燕玲. 药食同源食品质量控制的研究现状及策略[J]. 中国中药杂志, 2022, 47(14): 3963-3967.
- [4] 柴春泉,姜逸,肖思琦. 鲜地黄本草功效考证与现代药理学研究[J]. 上海医药, 2024, 45(1): 19-22.
Chai C Q, Jiang Y, Xiao S Q. Research on herbal efficacy and modern pharmacology of fresh *Rehmannia* [J]. Shanghai Medical & Pharmaceutical Journal, 2024, 45(1): 19-22.
- [5] 朱瑶,朱昊宇,陈建华. 中药地黄本草考证及在温病中的应用[J]. 亚太传统医药, 2023, 19(8): 180-184.
Zhu Y, Zhu H Y, Chen J H. Textual research on materia medica of *Rehmanniae Radix* and application in febrile disease [J]. Asia-Pacific Traditional Medicine, 2023, 19(8): 180-184.
- [6] 廖佳,黄伟东,江钢辉,等. 基于R语言挖掘陈士铎《辨证录》熟地黄用药规律[J]. 中国中医药图书情报杂志, 2023, 47(5): 71-75.
Liao J, Huang W D, Jiang G H, et al. Exploration on Chen Shiduo's medication law of applying *Rehmanniae Radix Praeparata* in *Bian Zheng Lu* based on R language [J]. Chinese Journal of Library and Information Science for Traditional Chinese Medicine, 2023, 47(5): 71-75.
- [7] 房敏,赵冠宇,李泉洋,等. 经典名方四物汤化学成分、药理作用、临床应用研究进展及质量标志物预测分析[J]. 中华中医药学刊, 2024, 42(7): 154-161.
Fang M, Zhao G Y, Li Q Y, et al. Research progress on chemical constituents, pharmacological effects and clinical application of classic prescription on Siwu decoction and predictive analysis on its Q-markers [J]. Chinese Archives of Traditional Chinese Medicine, 2024, 42(7): 154-161.
- [8] 辛国麟,曹铤晨,刘亚蓉,等. 基于数据挖掘分析含熟地黄的中成药配方规律[J]. 光明中医, 2023, 38(21): 4097-4101.
Xin G L, Cao Y C, Liu Y R, et al. Analysis of rule and characteristics for Chinese patent medicine containing prepared rhizome of adhesive *Rehmannia* based on data mining [J]. Guangming Journal of Chinese Medicine, 2023, 38(21): 4097-4101.
- [9] 张一昊,宗梦婷,刘艳红,等. 基于HS-SPME-GC-MS的临沧普洱生茶与传统绿茶香气差异分析[J]. 生物资源, 2025, 47(5): 456-469.
Zhang Y H, Zong M T, Liu Y H, et al. Analysis of aroma differences between Lincang Pu-er raw tea and traditional green tea based on HS-SPME-GC-MS [J]. Biotic Resources, 2025, 47(5): 456-469.

- [10] Zhang R X, Li M X, Jia Z P. *Rehmannia glutinosa*: review of botany, chemistry and pharmacology[J]. Journal of Ethnopharmacology, 2008, 117(2): 199-214.
- [11] 李红伟, 孟祥乐. 地黄化学成分及其药理作用研究进展[J]. 药物评价研究, 2015, 38(2): 218-228.
- Li H W, Meng X L. Research progress on chemical constituents and pharmacological activities of *Rehmannia glutinosa*[J]. Drug Evaluation Research, 2015, 38(2): 218-228.
- [12] Liu N A, Liu J Q, Liu Y, et al. *Rehmannia glutinosa* polysaccharide regulates bone marrow microenvironment via HIF-1 α /NF- κ B signaling pathway in aplastic Anemia mice[J]. Anais da Academia Brasileira de Ciencias, 2023, 95(3): e20220672.
- [13] Li S Q, Fan L, Xiong D, et al. Compounds from *Rehmannia glutinosa* and the activity to suppress α -glucosidase[J]. Natural Product Research, 2024, 38(12): 2060-2068.
- [14] Meng X L, Yan J N, Ma J N, et al. Effects of Jowiseungki-Tang on high fat diet-induced obesity in mice and functional analysis on network pharmacology and metabolomics analysis[J]. Journal of Ethnopharmacology, 2022, 283: 114700.
- [15] 张月月, 王君明, 巫晓慧. 基于以梓醇为主要成分的地黄环烯醚萜苷生物活性研究[J]. 中华中医药学刊, 2022, 40(12): 75-77.
- Zhang Y Y, Wang J M, Wu X H. Biological activities of iridoid glycosides in Dihuang (*Rehmannia Radix*) based on catalpol as the major compound[J]. Chinese Archives of Traditional Chinese Medicine, 2022, 40(12): 75-77.
- [16] 国家药典委员会. 中药色谱指纹图谱相似度评价系统(2012版)[CP]. 北京: 国家药典委员会, 2012.
- National Pharmacopoeia Committee. Similarity evaluation system of chromatographic fingerprints of traditional Chinese medicine (2012 edition) [CP]. Beijing: National Pharmacopoeia Committee, 2012.
- [17] 刘一涵, 田云刚, 王建霞, 等. 薄层色谱扫描法测定桑白皮中桑辛素含量[J]. 中国现代中药, 2018, 20(7): 821-824.
- Liu Y H, Tian Y G, Wang J X, et al. Determination of morusin in Mori Cortex with thin layer chromatogram scanner[J]. Modern Chinese Medicine, 2018, 20(7): 821-824.
- [18] 向雅洁, 张梓杰, 菅瑞至, 等. 海南习用药材藿香蓟质量标准研究[J]. 生物资源, 2024, 46(5): 487-493.
- Xiang Y J, Zhang Z J, Jian R Z, et al. Quality standard study of Hainan customary medicinal herb *Ageratum conyzoides*[J]. Biotic Resources, 2024, 46(5): 487-493.
- [19] Furukawa M, Makino M, Ohkoshi E, et al. Terpenoids and phenethyl glucosides from *Hyssopus cuspidatus* (Labiatae) [J]. Phytochemistry, 2011, 72(17): 2244-2252.
- [20] 付国辉, 杜鑫. 地黄化学成分及药理作用研究进展[J]. 中国医药科学, 2015, 5(15): 39-41.
- Fu G H, Du X. Research progress on chemical constituents and pharmacological effects of *Rehmannia glutinosa* [J]. China Medicine and Pharmacy, 2015, 5(15): 39-41.
- [21] 徐名慧, 苏红彦, 邹国栋, 等. 不同采收期茵陈主要活性物质含量及抗氧化能力变化[J]. 中草药, 2025, 56(17): 6355-6361.
- Xu M H, Su H Y, Wu G D, et al. Changes of antioxidant capacity and main bioactive compounds contents in *Artemisia capillaris* at different harvest stages[J]. Chinese Traditional and Herbal Drugs, 2025, 56(17): 6355-6361.
- [22] 陈亚曼, 刘蕊, 王庆婷, 等. 基于LC-MS结合多元统计分析的栽培地黄与野生地黄中代谢产物特征分析[J]. 中国中药杂志, 2025, 50(20): 5706-5716.
- Chen Y M, Liu R, Wang Q T, et al. Metabolite characteristics analysis of cultivated and wild *Rehmannia glutinosa* based on LC-MS combined with multivariate statistical analysis[J]. China Journal of Chinese Materia Medica, 2025, 50(20): 5706-5716.
- [23] 刘璐, 刘冲霄, 冷清阳, 等. 梓醇基于内质网应激介导的PERK-eIF2 α 信号通路改善非酒精性脂肪肝和降脂机制的研究[J]. 中华内分泌代谢杂志, 2022, 38(3): 231-238.
- Liu L, Liu C X, Leng Q Y, et al. Catalpol improves non-alcoholic fatty liver and lipid-lowering mechanism through endoplasmic reticulum stress-mediated PERK-eIF2 α signaling pathway[J]. Chinese Journal of Endocrinology and Metabolism, 2022, 38(3): 231-238.
- [24] 吕冉冉, 张丽, 李华, 等. 地黄中松果菊苷对谷氨酸诱导的PC-12细胞氧化应激及NMDAR1表达的影响[J]. 中药药理与临床, 2021, 37(5): 45-48.
- Lü R R, Zhang L, Li H, et al. Effects of echinacoside in *Rehmannia glutinosa* on oxidative stress and NMDAR1 expression in PC-12 cells induced by glutamate [J]. Pharmacology and Clinical of Traditional Chinese Medicine, 2021, 37(5): 45-48.