

恒山黄芪主要有效成分含量与农艺性状的相关分析

薛江源¹, 李艳荣², 孙芮芮¹, 樊慧杰², 刘 星^{1*}, 柴 智^{2*}

(1. 山西中医药大学中药与食品工程学院, 山西 晋中 030619; 2. 山西中医药大学基础医学院/神经生物学研究中心, 山西 晋中 030619)

摘要: **目的** 探究恒山黄芪主要有效成分含量与农艺性状的相关性。**方法** 采用 HPLC-UV/ELSD 法测定 92 株恒山仿野生黄芪根部毛蕊异黄酮葡萄糖苷、芒柄花素、毛蕊异黄酮、芒柄花苷、黄芪甲苷的含量, 测量根长、根重、地上生物量、茎粗、株高、根粗, 采用 SPSS 26.0 软件开展各指标间的简单相关分析、逐步回归分析、通径分析。**结果** 简单相关分析表明, 大部分农艺性状与苷类成分含量呈显著负相关, 与苷元类成分含量呈显著正相关; 逐步回归分析表明, 以根中毛蕊异黄酮葡萄糖苷含量为因变量, 其余指标为自变量时所构建的方程 R^2 最高, 为 0.825; 通径分析表明, 芒柄花苷的累积对根中毛蕊异黄酮葡萄糖苷累积的直接作用最大, 茎粗对其直接作用最小。**结论** 在黄芪育种中以根中毛蕊异黄酮葡萄糖苷含量为选育指标, 可以将茎秆较细的黄芪定为优质黄芪。

关键词: 恒山黄芪; 有效成分含量; 农艺性状; 逐步回归分析; 通径分析

中图分类号: R282 **文献标志码:** B **文章编号:** 1001-1528(2023)05-1717-06

doi: 10.3969/j.issn.1001-1528.2023.05.059

恒山黄芪是山西地道药材, 因主产于恒山山脉周边而得名, 是中国优质黄芪的代名词。恒山黄芪多为蒙古黄芪, 多年生长且具有自交不亲和特性, 受此影响现阶段恒山黄芪的良种选育工作较为滞后, 遗传资源依然较为混乱, 从现有恒山地区生长的黄芪中初步寻找农艺性状与有效成分含量间的相关性, 对黄芪优良品种的选育具有重要意义。

目前, 对黄芪农艺性状与有效成分含量的相关研究多集中于根部性状与根部有效成分含量的相关性分析, 而黄芪整株农艺性状与根部有效成分含量的相关性分析鲜有报道。基于此种现状, 课题组在前期走访、调研的基础上对所收集的恒山黄芪整株根长、根重、地上生物量、茎粗、株高、根粗及根部毛蕊异黄酮葡萄糖苷、芒柄花素、毛蕊异黄酮、芒柄花苷、黄芪甲苷的含量进行测定, 通过简单相关分析、逐步回归分析、通径分析, 探索恒山黄芪植株根部有效成分含量及农艺性状间的相关性, 以期对恒山黄芪种质资源净化、良种选育提供一定的理论参考。

1 材料

1.1 药材 恒山黄芪于 2021 年 10 月采自浑源、应县、天镇, 采用五点取样法采集, 均为 5 年生仿野生蒙古黄芪

Astragalus membranaceus (Fisch.) Bge. var. *mongholicus* (Bge.) Hsiao, 合计 92 株, 经山西省食品药品检验所史献海主任药师鉴定为正品, 保存于山西中医药大学黄芪资源产业化及产业国际化协同创新中心生物样本库。

1.2 仪器 HH-S6 型数显恒温水浴锅 (常州国宇仪器制造有限公司); 四目药典筛 (绍兴市上虞圣超仪器设备有限公司); HPX-9162MBE 型烘箱 (上海博迅医疗生物仪器股份有限公司); CP224C 型万分之一天平 (美国奥豪斯公司); DE-100 g 型、DE-50 g 型万能粉碎机 (浙江红景天工贸有限公司); SB25-12DTDN 型超声波清洗机 (宁波新芝生物科技股份有限公司); UM5800Plus 型蒸发光散射检测器、UMA-10LP 型空气泵 (上海通微微生物技术有限公司); Waters e2695-2998 型高效液相色谱仪、Waters C₁₈ 色谱柱 (250 mm×4.6 mm, 5 μm, 序列号 03313027214053, 批号 0331302721) (美国 Waters 公司)。

1.3 试剂 毛蕊异黄酮葡萄糖苷 (批号 20633-67-4)、芒柄花素 (批号 485-72-3)、毛蕊异黄酮 (批号 20575-57-9)、芒柄花苷 (批号 486-62-4)、黄芪甲苷 (批号 84687-43-4) 对照品, 购自上海融禾医药科技发展有限公司, 纯度 ≥ 98%。甲酸、乙腈为色谱纯 (瑞典 Oceanpak 公司)。

收稿日期: 2022-11-08

基金项目: 科技部“中医药现代化研究”重点研发计划项目子课题 (2019YFC1710800); 中央引导地方科技发展资金自由探索类基础研究项目 (YDZX20201400001483); 山西省青年拔尖人才支持计划项目 (晋组办字 [2019] 35 号); 山西省重点研发计划重点项目 (201603D3111001); 山西省黄芪资源产业化及产业国际化协同创新中心项目 (HQXTCXZX2016-005, HQXTCXZX2016-016); 山西中医药大学科技创新能力培育计划项目 (2020PY-YC-17); 山西中医药大学青年科学家培育计划项目 (2021PY-QN-03)

作者简介: 薛江源 (1996—), 男, 硕士生, 从事药食两用中药功能产品研究。Tel: 15735646864, E-mail: 2480799441@qq.com

* **通信作者:** 刘 星 (1969—), 男, 博士, 教授, 从事中药资源研究。Tel: (0351) 3179988, E-mail: 460234335@qq.com

柴 智 (1979—), 男, 博士, 教授, 从事中药资源研究。Tel: (0351) 3179952, E-mail: chaizhi008@126.com

2 方法

2.1 含量测定

2.1.1 溶液制备

2.1.1.1 对照品溶液 ①精密称定毛蕊异黄酮葡萄糖苷对照品 7.5 mg、芒柄花素对照品 3.7 mg、毛蕊异黄酮对照品 2.5 mg、芒柄花苷对照品 1.2 mg 至 5 mL 棕色量瓶中，甲醇溶解定容至刻度线，混匀，即得。

②取黄芪甲苷对照品适量，精密称定，加入 80% 甲醇制成每 1 mL 含 0.5 mg 的溶液，即得。

2.1.1.2 供试品溶液 ①毛蕊异黄酮葡萄糖苷、芒柄花素、毛蕊异黄酮、芒柄花苷：将恒山黄芪根部冲洗干净，55℃烘箱烘干，切段，粉碎，过四号筛，取恒山黄芪粉末 1 g，精密称定，置圆底烧瓶中，精密加入甲醇 50 mL，称定质量，加热回流 4 h，放冷，再称定质量，用甲醇补足减失的质量，摇匀，过滤，精密量取续滤液 25 mL，回收溶剂，残渣加甲醇溶解，转移至 5 mL 量瓶中，加甲醇至刻度，摇匀，即得。

②黄芪甲苷：参考文献 [1] 报道，取恒山黄芪粉末 1 g，精密称定，置具塞锥形瓶中，精密加入含 4% 浓氨试液的 80% 甲醇溶液 50 mL，密塞，称定质量，加热回流 1 h，放冷，再次称定质量，用含 4% 浓氨试液的 80% 甲醇溶液补足减失的质量，摇匀，滤过，精密量取续滤液 25 mL，蒸干，残渣用 80% 甲醇溶解，转移至 5 mL 量瓶中，加入 80% 甲醇至刻度，摇匀，滤过，取续滤液，即得。

2.1.2 色谱条件 ①毛蕊异黄酮葡萄糖苷、芒柄花素、毛蕊异黄酮、芒柄花苷：Waters C₁₈Symmetry 色谱柱（250 mm×4.6 mm，5 μm）；流动相乙腈（A）-0.2% 甲酸水（B），梯度洗脱（0~5 min，2.2%~2.3% A；5~10 min，2.3%~2.4% A；10~14 min，2.4%~9.0% A；14~23 min，9.0%~

12.0% A；23~30 min，12.0%~19.3% A；30~38 min，19.3%~24.3% A；38~45 min，24.3%~28.8% A；45~47 min，28.8%~29.2% A；47~55 min，29.2%~29.3% A；55~56 min，29.3%~30.0% A；56~57.5 min，30.0%~34.0% A；57.5~58.5 min，34.0%~40.0% A；58.5~66.5 min，40.0% A；66.5~70.0 min，40.0%~60.0% A；70.0~75.0 min，60.0% A）；柱温（25±5）℃；体积流量 1.0 mL/min；检测波长 260 nm；进样量 10 μL。蒸发温度 75℃；气体流量 2.5 mL/min；信号增益 3；采样频率 20 Hz。

②黄芪甲苷：Waters C₁₈Symmetry 色谱柱（250 mm×4.6 mm，5 μm）；流动相乙腈-水（33：67）；柱温（25±5）℃；体积流量 1.0 mL/min；进样量 10 μL。蒸发温度 75℃；气体流量 2.5 mL/min；信号增益 3；采样频率 20 Hz。

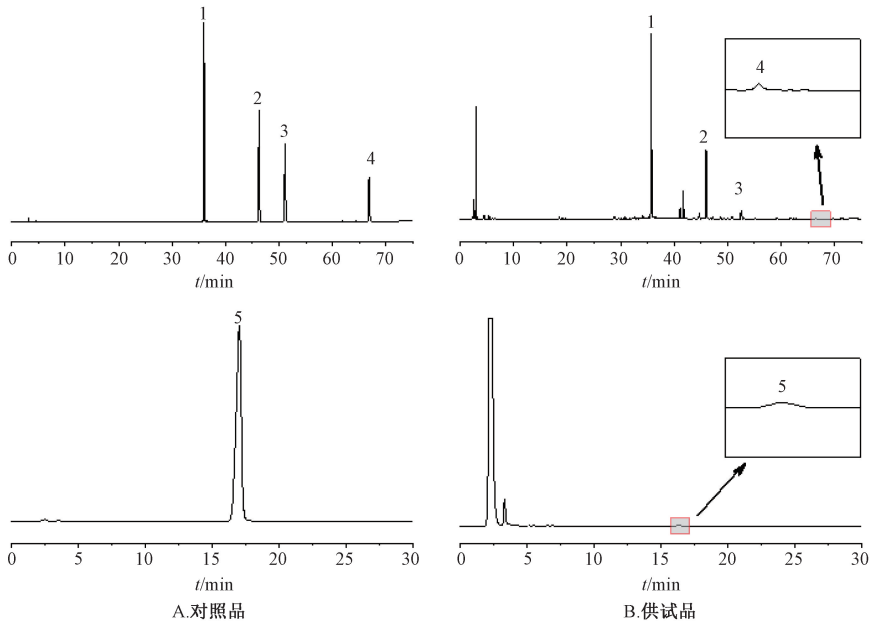
2.2 农艺性状测定 测定 92 株恒山黄芪的根长、根重、地上生物量、茎粗、株高、根粗。株高为植物地上部分株顶端至植物基部距离，茎粗为植株基部直径，根长为根部斩口处至根末端距离，根粗为斩口下 3.5 cm 处直径，地上生物量为地上部分质量（茎+叶），根重为根部斩口至根末端部分质量。

2.3 统计学分析 通过 SPSS 26.0 软件进行简单相关分析、逐步回归分析，锁定 R² 最高的回归方程进行进一步的通径分析，探索各有效成分含量与各农艺性状间的相关性。

3 结果

3.1 方法学考察 由于黄芪甲苷测定方法完全按照 2020 年版《中国药典》一部^[1]，故无需进行方法学考察。

3.1.1 HPLC-UV/ELSD 色谱图 见图 1。



1. 毛蕊异黄酮葡萄糖苷 2. 芒柄花苷 3. 毛蕊异黄酮 4. 芒柄花素 5. 黄芪甲苷

图 1 各成分 HPLC-UV/ELSD 色谱图

3.1.2 线性关系考察 精密吸取“2.1.1.1”项下对照品溶液 0.1、0.25、0.5、0.75、1 mL 于 5 个 5 mL 量瓶中，甲醇稀释并定容至刻度线，即得 5 个梯度系列浓度的对照品溶液。以对照品质量浓度为横坐标（ X ），峰面积值为纵坐标（ Y ）进行回归，在“2.1.2”项色谱条件下进样测定，结果见表 1，可知各成分在各自范围内线性关系良好。

表 1 各成分线性关系

成分	回归方程	r	线性范围/ ($\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$)
毛蕊异黄酮葡萄糖苷	$Y=25\ 020X+71\ 882$	0.999 5	25.2~252
芒柄花苷	$Y=43\ 519X+95\ 440$	0.999 5	19.2~192
毛蕊异黄酮	$Y=148\ 675X+255\ 897$	0.999 7	4~40
芒柄花素	$Y=67\ 203X+45\ 547$	0.999 6	7.2~72

3.1.3 精密度试验 取同一份对照品溶液，在“2.1.2”项色谱条件下进样测定 6 次，测得毛蕊异黄酮葡萄糖苷、芒柄花苷、毛蕊异黄酮、芒柄花素峰面积 RSD 为 0.43%、

0.41%、0.43%、0.37%，表明仪器精密度良好。
3.1.4 重复性试验 取同一份恒山黄芪，按“2.1.1.2”项下方法平行制备 6 份供试品溶液，在“2.1.2”项色谱条件下进样测定，测得毛蕊异黄酮葡萄糖苷、芒柄花苷、毛蕊异黄酮、芒柄花素峰面积 RSD 为 1.84%、2.15%、2.64%、2.34%，表明该方法重复性良好。
3.1.5 稳定性试验 取同一份恒山黄芪，按“2.1.1.2”项下方法制备供试品溶液，于 0、2、4、6、8、12 h 在“2.1.2”项色谱条件下进样测定，测得毛蕊异黄酮葡萄糖苷、芒柄花苷、毛蕊异黄酮、芒柄花素峰面积 RSD 为 0.25%、0.38%、2.23%、0.51%，表明溶液在 12 h 内稳定性良好。
3.1.6 加样回收率试验 精密称定各成分含量已知的恒山黄芪 1 g，共 9 份，分别按 50%、100%、150% 水平加入适量对照品，按“2.1.1.2”项下方法制备供试品溶液，在“2.1.2”项色谱条件下进样测定，计算回收率，结果见表 2。

表 2 各成分加样回收率试验结果（ $n=3$ ）

成分	取样量/g	原有量/mg	加入量/mg	测得量/mg	回收率/%	平均回收率/%	RSD/%
毛蕊异黄酮葡萄糖苷	1.000 2	3.970	1.985	5.851	97.39	101.92	4.21
	1.000 2	3.970	1.985	5.974	100.49		
	1.000 2	3.970	1.985	5.907	98.80		
	1.000 2	3.970	3.970	8.108	104.24		
	1.000 2	3.970	3.970	8.258	108.01		
	1.000 2	3.970	3.970	7.934	99.87		
	1.000 2	3.970	5.960	9.967	101.08		
	1.000 2	3.970	5.960	10.291	109.24		
芒柄花苷	1.000 2	3.970	5.960	9.853	98.20	97.27	3.37
	1.000 2	1.014	0.505	1.514	99.33		
	1.000 2	1.014	0.505	1.538	101.66		
	1.000 2	1.014	0.505	1.493	97.20		
	1.000 2	1.014	1.014	2.022	99.38		
	1.000 2	1.014	1.014	2.032	100.36		
	1.000 2	1.014	1.014	1.986	95.86		
	1.000 2	1.014	1.521	2.475	94.04		
毛蕊异黄酮	1.000 2	1.014	1.521	2.447	91.33	97.73	3.04
	1.000 2	1.014	1.521	2.498	96.32		
	1.000 2	0.027	0.014	0.040	98.37		
	1.000 2	0.027	0.014	0.042	102.70		
	1.000 2	0.027	0.014	0.040	97.00		
	1.000 2	0.027	0.027	0.054	97.15		
	1.000 2	0.027	0.027	0.055	101.52		
	1.000 2	0.027	0.027	0.053	96.39		
芒柄花素	1.000 2	0.027	0.041	0.067	95.74	102.73	4.07
	1.000 2	0.027	0.041	0.066	92.80		
	1.000 2	0.027	0.041	0.067	97.92		
	1.000 2	0.004	0.002	0.006	99.21		
	1.000 2	0.004	0.002	0.007	103.70		
	1.000 2	0.004	0.002	0.006	98.01		
	1.000 2	0.004	0.004	0.009	101.93		
	1.000 2	0.004	0.004	0.009	104.06		
	1.000 2	0.004	0.004	0.008	98.96		
	1.000 2	0.004	0.006	0.011	102.46		
	1.000 2	0.004	0.006	0.011	104.29		
	1.000 2	0.004	0.006	0.011	111.97		

3.2 黄芪有效成分含量及农艺性状指标的描述统计 92 株黄芪毛蕊异黄酮葡萄糖苷含量分布在 0.002%~0.128% 的范围内, 芒柄花苷含量分布在 0.001%~0.054% 的范围内, 毛蕊异黄酮含量分布在 0~0.026% 的范围内, 芒柄花素含量分布在 0~0.010% 的范围内, 黄芪甲苷含量分布在 0.022%~0.254% 的范围内。芒柄花素变异系数最大, 为 151.42%, 根粗变异系数最小, 为 31.15%。结果见表 3。

表 3 92 株恒山黄芪有效成分含量及农艺性状指标测定结果

指标	最小值	最大值	平均值	标准偏差	变异系数/%
毛蕊异黄酮葡萄糖苷	0.002	0.128	0.034	0.025	72.150
芒柄花苷	0.001	0.054	0.013	0.010	76.920
毛蕊异黄酮	0	0.026	0.004	0.005	126.770
芒柄花素	0	0.010	0.001	0.002	151.420
黄芪甲苷	0.022	0.254	0.117	0.050	42.400
根长	17.000	170.000	68.770	29.050	42.240
根重	0.005	0.260	0.081	0.062	76.430
地上生物量	0.001	0.275	0.029	0.039	134.170
茎粗	0.210	0.970	0.489	0.156	31.800
株高	4.800	145.000	77.693	33.044	42.530
根粗	0.430	3.184	1.494	0.465	31.150

3.3 农艺性状与有效成分含量的简单相关分析 由表 4 可

表 4 恒山黄芪根部各主要有效含量与各农艺性状的简单相关分析

	毛蕊异黄酮葡萄糖苷	芒柄花苷	毛蕊异黄酮	芒柄花素	黄芪甲苷	根长	根重	地上生物量	茎粗	株高	根粗
毛蕊异黄酮葡萄糖苷	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
芒柄花苷	0.884**	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—
毛蕊异黄酮	-0.112	-0.115	1	—	—	—	—	—	—	—	—
芒柄花素	-0.285**	-0.195*	0.793**	1	—	—	—	—	—	—	—
黄芪甲苷	0.157	0.121	-0.133	-0.158	1	—	—	—	—	—	—
根长	-0.191*	-0.211*	-0.015	0.057	-0.063	1	—	—	—	—	—
根重	-0.378**	-0.336**	0.259**	0.313**	-0.371**	0.466**	1	—	—	—	—
地上生物量	-0.268**	-0.200*	0.122	0.186*	-0.214*	0.028	0.703**	1	—	—	—
茎粗	-0.191*	-0.084	0.212*	0.183*	-0.377**	0.235*	0.526**	0.441**	1	—	—
株高	-0.288**	-0.209*	0.486**	0.515**	-0.094	0.145	0.535**	0.433**	0.514**	1	—
根粗	-0.259**	-0.239*	0.215*	0.221*	-0.410**	0.373**	0.753**	0.347**	0.417**	0.431**	1

注: * $P<0.05$ 表示相关性显著, ** $P<0.01$ 表示相关性极显著。

表 5 逐步回归分析方程

成分	回归方程	R^2
毛蕊异黄酮葡萄糖苷	$Y_1 = 0.016 - 0.019X_{\text{茎粗}} + 1.170X_{\text{毛蕊异黄酮}} - 3.393X_{\text{芒柄花素}} + 2.170X_{\text{芒柄花苷}}$	0.825
毛蕊异黄酮	$Y_2 = 0.001 + 1.903X_{\text{芒柄花素}}$	0.629
芒柄花素	$Y_3 = 0.001 - 0.04X_{\text{株高}} + 0.323X_{\text{毛蕊异黄酮}} + 0.067X_{\text{芒柄花苷}}$	0.689
芒柄花苷	$Y_4 = 0.001 + 0.345X_{\text{株高}}$	0.782
黄芪甲苷	$Y_5 = 0.202 + 0.000367X_{\text{株高}} - 0.111X_{\text{茎粗}} - 0.039X_{\text{根粗}}$	0.260

3.5 通径分析 参数 R^2 表示回归模型的解释程度, 越大解释程度越高。锁定 R^2 值最高的回归方程, 即 $Y_1 = 0.016 - 0.019X_{\text{茎粗}} + 1.170X_{\text{毛蕊异黄酮}} - 3.393X_{\text{芒柄花素}} + 2.170X_{\text{芒柄花苷}}$ ($R^2 = 0.825$), 进行更深一层的通径分析^[2-4]。由表 6 可知, 4 个自变量对根中毛蕊异黄酮葡萄糖苷含量的直接影响大小依次为芒柄花素含量>芒柄花苷含量>毛蕊异黄酮含量>茎粗, 其中, 茎粗对毛蕊异黄酮葡萄糖苷含量无论从直接作用还是间接作用, 最终都会对根中毛蕊异黄酮葡萄糖苷的含量起到负向作用, 而芒柄花苷、芒柄花素无论直接作

知, 大部分农艺性状与苷类成分呈显著负相关, 与苷元类成分呈显著正相关, 在农艺性状与苷元类成分的相关性中, 仅根长与毛蕊异黄酮含量呈负向作用。毛蕊异黄酮葡萄糖苷含量与根重、地上生物量、株高、根粗、茎粗、根长呈显著负相关; 根重与有效成分含量呈显著相关性的种类数目最多, 可达 3 种, 其余农艺性状与有效成分含量的呈显著相关性所涉及的化合物种类数目差异不大, 分别为 1~2 种。茎粗、株高与根重、根粗均可建立显著正相关关系, 而与根长无法建立相关性。

3.4 农艺性状与有效成分含量的逐步回归分析 以恒山黄芪根部 5 种有效成分含量分别为因变量, 用 Y_1 、 Y_2 、 Y_3 、 Y_4 、 Y_5 表示, 其余变量为自变量 (X), 建立逐步回归分析方程, 见表 5。当以毛蕊异黄酮葡萄糖苷含量为因变量, 其他指标为自变量时, 所构建的回归方程 R^2 最大, 为 0.825; 以黄芪甲苷含量为因变量, 其他指标为自变量时, R^2 最小, 仅有 0.260。以毛蕊异黄酮葡萄糖苷含量为因变量时所构建的回归方程为例, 毛蕊异黄酮葡萄糖苷含量平均每增加 1 个单位, 茎粗平均减少 0.019 个单位, 毛蕊异黄酮含量增加 1.170 个单位, 芒柄花素含量减少 3.393 个单位, 芒柄花苷含量增加 2.170 个单位, 其余方程同理。

用还是间接作用最终均会对根中毛蕊异黄酮葡萄糖苷的积累起到正向作用。毛蕊异黄酮对根中毛蕊异黄酮葡萄糖苷的积累虽然具有正向的直接作用, 但由于其他成分负向的影响作用较大, 故毛蕊异黄酮的积累最终与毛蕊异黄酮葡萄糖苷的积累呈负向相关。

4 讨论

本研究通过简单相关分析与回归模型构建对恒山黄芪主要有效成分含量和农艺性状各指标间的简单相关性 & 数量关系进行初步阐释, 通过通径分析将简单相关系数分解

表 6 通径分析表

自变量	与 Y 的简单相关系数	通径系数(直接作用)	间接通径系数(间接作用)				
			茎粗	毛蕊异黄酮含量	芒柄花素含量	芒柄花苷含量	合计
茎粗	-0. 191	-0. 117	—	0. 050	-0. 021	-0. 071	-0. 042
毛蕊异黄酮含量	-0. 112	0. 370	-0. 025	—	-0. 226	-0. 097	-0. 348
芒柄花素含量	-0. 285	0. 892	-0. 021	0. 187	—	-0. 165	0. 001
芒柄花苷含量	0. 884	0. 118	0. 010	-0. 027	0. 556	—	0. 539

为直接通径系数与间接通径系数，对各相关因素间的作用方式及大小进行更深层次的明确。张瑞等^[5]、高四云等^[6]考察了黄芪根中有效成分含量随绝对年限（根粗）递增的变化情况，与本研究相比有一定的先进之处，但在对黄芪具体年限考察并不精细的当下，本研究结论也具有一定的借鉴意义；曹庆伟等^[7]、牛倩芸等^[8]发现，黄芪根中黄芪甲苷含量随黄芪等级递增呈下降趋势，与本研究发现的黄芪茎秆越粗，根越粗，根中黄芪甲苷含量越低的规律基本一致；Yin 等^[9]发现其所考察的黄芪有效成分总量从五等黄芪到二等黄芪递增，到一等黄芪递减，到特等黄芪时再递增，与本研究结论有所差别，但相同之处为黄芪根中有效成分的含量随根粗的递增并非呈简单的上升关系。除根粗与有效成分的相关关系之外，本研究还发现黄芪的地上部分茎秆越粗，根中毛蕊异黄酮葡萄糖苷含量越低，这是本研究不同于以往研究的独特之处。本研究将整个恒山山脉的黄芪视为一个整体，但受各种因素所限，在采样时并未采集到恒山山脉周边其他县市的黄芪，是本研究的不足。

本研究结合前人相关研究^[5,10-14]，本着供试品含量高易测定、对照品品质好易获取的基本原则，选定毛蕊异黄酮葡萄糖苷、芒柄花苷、毛蕊异黄酮、芒柄花素、黄芪甲苷为本研究的考察指标，作为黄芪补益气血的重要药效物质基础，这 5 种成分在治疗多种复杂病症方面具有良好疗效，可以作为黄芪优劣评价的质量标志物^[14-19]。本研究的结论可以为日后黄芪的选育提供一定的帮助，在以具有神经保护、抗氧化应激作用的毛蕊异黄酮葡萄糖苷^[20-21]含量为选育目标时，可以将茎秆较细的黄芪视为优质黄芪。本研究结果为恒山黄芪植株的选择、培育目标提供了科学依据，但农艺性状指标影响恒山黄芪有效成分积累和品质形成的调控机制和量化规律等科学问题尚需进一步深入研究。

参考文献：

[1] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典：2020 年版一部[S]. 北京：中国医药科技出版社，2020：315.

[2] 王艳芳, 李 戈, 唐 玲, 等. 肾茶表型性状变异、主成分、相关及通径分析[J]. 中药材, 2015, 38(10)：2021-2025.

[3] 陈昌婕, 苗玉焕, 方 艳, 等. 不同艾种质资源矿质元素含量及其与品质的关系[J]. 中国中药杂志, 2022, 47(4)：880-888.

[4] 佟显聪, 梁树辉, 何 森, 等. 微胚乳玉米主要品质性状和产量性状的相关及通径分析[J]. 西南农业学报, 2022, 35(1)：8-15.

[5] 张 瑞, 曹庆伟, 李 科, 等. 黄芪药材性状和化学特征与绝对生长年限的相关性分析研究[J]. 中草药, 2020, 51(2)：451-460.

[6] 高四云, 李 科, 熊一峰, 等. 恒山仿野生黄芪绝对生长年限鉴别及黄酮和皂苷积累规律研究[J]. 药学学报, 2018, 53(1)：147-154.

[7] 曹庆伟, 杜 鹃, 罗晋平, 等. 黄芪甲苷含量测定方法的优化及对不同产地、不同等级黄芪中黄芪甲苷含量分析[J]. 中国中药杂志, 2019, 44(13)：2813-2819.

[8] 牛倩芸, 万燕晴, 李震宇, 等. 不同商品等级黄芪质量评价研究[J]. 中药材, 2015, 38(6)：1186-1190.

[9] Yin M Z, Yang M, Chu S S, *et al.* Quality analysis of different specification grades of *Astragalus membranaceus* var. *mongholicus* (Huangqi) from Hunyuan, Shanxi[J]. *J AOAC Int*, 2019, 102(3)：734-740.

[10] Bi Y Q, Bao H Y, Zhang C H, *et al.* Quality control of *Radix Astragali* (the root of *Astragalus membranaceus* var. *mongholicus*) along its value chains[J]. *Front Pharmacol*, 2020, 11(12)：562376.

[11] Li K, Zhang R, Li S Y, *et al.* Potential quality evaluation approach for the absolute growth years’ wild and transplanted *Astragali Radix* based on anti-heart failure efficacy[J]. *Chin J Nat Med*, 2020, 18(6)：460-471.

[12] 孙秀蕊, 魏桂杰, 王宏雅, 等. 基于外观性状和内在成分的黄芪药材质量等级评价[J]. 中国中药杂志, 2021, 46(4)：966-971.

[13] 何 盼, 李震宇, 刘月涛, 等. 基于中药质量标志物的多效药材商品规格等级标准研究思考[J]. 中草药, 2022, 53(6)：1868-1874.

[14] Yu X Y, Nai J X, Guo H M, *et al.* Predicting the grades of *Astragali radix* using mass spectrometry-based metabolomics and machine learning [J]. *J Pharm Anal*, 2021, 11 (5)：611-616.

[15] Chen Z J, Liu L J, Gao C F, *et al.* *Astragali Radix* (Huangqi)：A promising edible immunomodulatory herbal medicine[J]. *J Ethnopharmacol*, 2020, 258(8)：112895.

[16] Li M, Han B, Zhao H, *et al.* Biological active ingredients of *Astragali Radix* and its mechanisms in treating cardiovascular and cerebrovascular diseases [J]. *Phytomedicine*, 2022, 98(4)：153918.

[17] Liu L J, Li H F, Xu F, *et al.* Exploring the *in vivo* existence forms (23 original constituents and 147 metabolites) of *Astragali Radix* total flavonoids and their distributions in rats using HPLC-DAD-ESI-IT-TOF-MSⁿ[J]. *Molecules*, 2020, 25(23)：5560.

[18] Liu Y J, Che G Y, Di Z X, *et al.* Calycosin-7-O-β-D-

glucoside attenuates myocardial ischemia-reperfusion injury by activating JAK2/STAT3 signaling pathway *via* the regulation of IL-10 secretion in mice[J]. *Mol Cell Biochem*, 2020, 463(1-2): 175-187.

[19] 谢 静, 龚易昕悦, 丁立生, 等. 黄芪及其活性成分对脓毒症临床和药理作用的研究进展[J]. *中草药*, 2021, 52(8): 2502-2510.

[20] Han L L, Song J Q, Yan C Q, *et al*. Inhibitory activity and mechanism of calycosin and calycosin-7-O- β -D-glucoside on α -glucosidase: spectroscopic and molecular docking analyses[J]. *Process Biochemistry*, 2022, 118(7): 227-235.

[21] Yan X L, Yu A M, Zheng H Z, *et al*. Calycosin-7-O- β -D-glucoside attenuates OGD/R-induced damage by preventing oxidative stress and neuronal apoptosis *via* the SIRT1/FOXO1/PGC-1 α pathway in HT22 cells[J]. *Neural Plast*, 2019, 2019(12): 8798069.

叶面施肥对红芪及其根际土壤无机元素累积的影响

魏小成, 李成义*, 周瑞娟, 张广袤, 贾妙婷, 罗旭东, 强正泽
(甘肃中医药大学药学院, 甘肃 兰州 730101)

摘要: **目的** 探究叶面施加无机盐溶液对红芪及其根际土壤无机元素累积的影响。**方法** 在红芪不同生长期叶面施加不同剂量无机 Zn 盐 ($\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) 溶液 (0.8、0.4、0.1 $\mu\text{g/L}$), 采用火焰原子吸收光谱法测定不同生长期红芪根、茎、叶及土壤 0、20、40 cm 处 Mg、Ca、Cu、Zn、K、Fe、Co 含量; 结合相关性、主成分及正交偏最小二乘法判别分析等分析叶面施肥对红芪及其根际土壤无机元素累积的影响。**结果** 外源无机 Zn 盐溶液能够促进红芪及其根际土壤中无机元素的累积; 主成分分析发现可以依据无机元素含量将红芪根、茎、叶区分开; 相关性分析发现土壤中 Co、K 含量与红芪中 Ca、Mg、Fe 含量有显著相关性; 正交偏最小二乘法判别分析发现 Zn 盐溶液造成红芪不同部位差异的主要无机元素有 Ca、Fe、Mg 等。**结论** 无机 Zn 盐溶液能够促进生长期红芪不同部位的无机元素累积, 可在红芪生长期叶面施加一定剂量的无机 Zn 盐溶液, 以提高红芪质量。

关键词: 红芪; 叶面施肥; 根际土壤; 无机元素; 锌 (Zn)

中图分类号: R282 **文献标志码:** B **文章编号:** 1001-1528(2023)05-1722-08

doi: 10.3969/j.issn.1001-1528.2023.05.060

无机元素与植物生长发育关系密切, 其中 Zn 是植物需求量大的微量元素, 通常限制作物产量, 影响其营养价值^[1]。研究发现 Zn 作为植物体内众多酶的组成成分, 在植物生理生化过程具有重要作用^[2]; 此外, Zn 参与相关基因的表达, 电子的接受、传递和叶绿素、碳水化合物及蛋白质的合成^[3]。生长发育过程中 Zn^{2+} 缺乏或过量都会对植物生长和品质形成造成不利影响; 缺少 Zn^{2+} 会造成植物根部伸展受阻、根尖生长缓慢、叶片变黄甚至枯萎^[4]; 过量 Zn^{2+} 会造成植物产量下降和生长迟缓, 影响 Fe、P、Mg、Mn 的累积^[5]。

红芪是甘肃道地药材, 以陇南“米仓红芪”为佳, 是豆科植物多序岩黄芪 *Hedysarum polybotrys* Hand. -Mazz. 的干燥根, 具有补气固表、消毒排脓等功效^[6]。常与黄芪通用, 因其皮色红润, 故称为红芪, 我国台湾、香港等地将红芪认为是黄芪的优良品种。现代药理研究表明, 红芪具

有免疫调节、抗肿瘤、抗氧化—抗肺纤维等作用^[7-10]。目前, 大量研究发现无机元素与中药材生长关联性强, 影响中药质量及临床疗效^[11-14]。土壤无机元素不易被植物直接吸收或吸收较慢, 基于此, 课题组在红芪道地产区陇南武都区展开大田试验。在红芪生长期叶面喷施不同剂量锌盐溶液, 采用火焰原子吸收光谱 (AAS) 法测定采收期红芪根茎、叶及土壤无机元素含量, 探究锌盐溶液对不同生长期红芪根、茎、叶及其根际土壤无机元素累积的影响, 分析其含量变化特征及互相之间的影响, 以期对红芪种植提供相应参考。

1 材料

1.1 大田试验 试验田位于甘肃省陇南市武都区, 海拔 1 953 m, 北纬 33°32'13"、东经 105°3'48"。前茬没有种植农作物, 较为平整的荒地, 消除其他肥料影响。于当地采购一年生红芪幼苗进行种植, 采用单因素完全随机区组试

收稿日期: 2022-11-03

基金项目: 国家自然科学基金地区项目 (81860683, 82160730); 国家自然科学基金青年科学基金项目 (82104345); 甘肃省教育厅双一流重大科研项目 (GSSYLXM-05); 甘肃省重点研发计划项目 (21YF5FA133)

作者简介: 魏小成 (1997—), 男, 硕士生, 从事中药鉴定与品质评价研究。E-mail: 2550888492@qq.com

* **通信作者:** 李成义 (1964—), 男, 教授, 博士生导师, 从事中药品种与质量研究。E-mail: gslchengyi@163.com