

陕西产不同生长年限黄芪药材的多指标成分评价研究



王 菲, 吴 芳, 龚 宇, 李 青, 丁 琳, 罗定强

陕西省食品药品检验研究院 (西安 710065)

【摘要】目的 测定陕西产不同生长年限的 25 批黄芪药材中 8 种成分的含量, 分析各成分含量与药材等级划分、生长年限及外观特征等 6 个因素的相关性。**方法** 采用蒸发光散射检测器 HPLC 法, 色谱柱为 SHISEIDO SPOLAR C₁₈ 柱 (250 mm × 4.6 mm, 5 μm), 流动相为乙腈-水 (40 : 60), 流速为 1.0 mL/min, 柱温为 35 °C, 进样量为 10 μL, 对 3 种皂苷类成分进行含量测定。采用二极管阵列检测器 HPLC 法, 色谱柱为 SHISEIDO SPOLAR C₁₈ 柱 (250 mm × 4.6 mm, 5 μm), 流动相为乙腈-0.1% 磷酸水溶液, 梯度洗脱, 流速为 1.0 mL/min, 检测波长为 205 nm (紫檀烷苷) 和 250 nm (毛蕊异黄酮葡萄糖苷、芒柄花苷、毛蕊异黄酮和芒柄花素), 柱温为 35 °C, 进样量为 10 μL, 对 5 种黄酮类成分进行含量测定。通过斯皮尔曼分析和相关因子分析法对测定结果进行分析。**结果** 黄芪药材中黄芪甲苷的含量为 0.080 0%~0.396 8%, 毛蕊异黄酮葡萄糖苷的含量为 0.049 7%~0.098 7%, 黄芪皂苷 I、黄芪皂苷 II 的含量分别为 0.034 9%~0.549 9%、0.006 2%~0.041 2%, 芒柄花素、芒柄花苷、毛蕊异黄酮和黄芪紫檀烷苷的含量分别为 0.000 6%~0.003 0%、0.015 0%~0.037 4%、0.000 9%~0.010 5%、0.009 0%~0.056 1%。皂苷类与黄酮类含量与生长年限呈现规律性, 各成分之间存在一定的关联性。**结论** 建立的含量测定方法简便准确, 研究结果可为黄芪规格等级划分及标准制定提供参考依据。

【关键词】 黄芪; 生长年限; 多指标成分; 含量测定; 等级划分; 皂苷; 黄酮; 高效液相色谱

【中图分类号】 R282.71**【文献标识码】** A

Multi-index component evaluation of *Astragalus membranaceus* medicinal materials with different growth years produced in Shaanxi

WANG Fei, WU Fang, GONG Yu, LI Qing, DING Lin, LUO Dingqiang

Shaanxi Institute for Food and Drug Control, Xi'an 710065, China

Corresponding author: WU Fang, Email: zhycyp1010@163.com

【Abstract】Objective To determine the content of 8 components in 25 batches of *Astragalus membranaceus* medicinal materials from Shaanxi Province with different growth years, and to analyze the correlations between these component contents and six factors including medicinal material grading, growth years, and morphological characteristics. **Methods** The content of 3 saponin components was determined using an evaporative light scattering detector HPLC method. The chromatographic column was SHISEIDO SPOLAR C₁₈ column (250 mm×4.6 mm, 5 μm), the mobile phase was acetonitrile-water (40 : 60), the flow rate was 1.0 mL/min, the column temperature was 35 °C, and the injection volume was 10 μL. The content of 5 flavonoid

DOI: 10.12173/j.issn.2097-4922.202509046

基金项目: 陕西省重点研发计划项目 (2023-YBSF-472); 陕西省药品监管科学研究项目 (SKYJ202403)

通信作者: 吴芳, 硕士, 副主任药师, Email: zhycyp1010@163.com

<https://yxqy.whuznhmedj.com>

components was determined using diode array detector HPLC method. The chromatographic column was SHISEIDO SPOLAR C₁₈ column (250 mm×4.6 mm, 5 μm), the mobile phase was acetonitrile-0.1% phosphoric acid aqueous solution with the gradient elution, the flow rate was 1.0 mL/min, the detection wavelength was 205 nm (9,10-dimethoxyptercarpan-3-*O*-β-*D*-glucoside) and 250 nm (calycosin-7-*O*-β-*D*-glucopyranoside, ononin, calycosin, and formononetin), the column temperature was 35 °C, and the injection volume was 10 μL. The measurement results were analyzed through Spearman analysis and correlation factor analysis. **Results** In *Astragalus membranaceus* medicinal herbs, the content of astragaloside IV and calycosin-7-*O*-β-*D*-glucopyranoside were 0.080 0%-0.396 8% and 0.049 7%-0.098 7%, respectively; the content of astragaloside I and astragaloside II were 0.034 9%-0.549 9% and 0.006 2%-0.041 2%, respectively; the content of formononetin, ononin, calycosin, and 9,10-dimethoxyptercarpan-3-*O*-β-*D*-glucoside were 0.000 6%-0.003 0%, 0.015 0%-0.037 4%, 0.000 9%-0.010 5%, and 0.009 0%-0.056 1%, respectively. Significant correlations were observed between saponin and flavonoid contents and growth years. Moreover, inter-component associations were identified. **Conclusion** The established content determination method is simple and accurate, and the research results can provide a reference for the classification and standard formulation of *Astragalus membranaceus* specifications and grades.

【Keywords】 *Astragalus membranaceus*; Growth years; Multi-index components; Content determination; Grade classification; Saponins; Flavonoids; High-performance liquid chromatography

黄芪为豆科植物蒙古黄芪 [*Astragalus membranaceus* (Fisch.) Bge.var. *Mongholicus* (Bge.) Hsiao]或膜荚黄芪 [*Astragalus membranaceus* (Fisch.) Bge.]的干燥根,具有补气升阳、固表止汗、利水消肿、生津养血等功效^[1]。药理研究证明,黄芪具有抗炎、抗氧化、降血糖、保护心脑血管、免疫调控等作用^[2-4],在医药和营养保健领域具有很大的发展潜力^[5-7]。

随着药用需求的大幅度增加,野生黄芪的产量难以满足实际需求。自20世纪50年代起,商品黄芪逐渐以栽培为主,目前已形成以甘肃、陕西、内蒙古、宁夏、山西浑源等^[8-9]相对稳定的主产区。陕西榆林种植黄芪历史悠久,当地产黄芪多为仿野生品,主要根据生长年限和粗细进行分级;在《中药材商品规格等级标准汇编》^[10]中,根据栽培方式不同分为栽培与仿野生两个规格,每种规格再根据长度和斩口上3.5 cm处直径的差异,分别划分为3个和4个等级。不同规格等级的黄芪市场价格相差可达数倍,然而目前关于黄芪规格等级与其内在质量及化学成分含量之间的系统性研究尚未见报道。

近年来黄芪物质基础与药理研究表明,其主要生物活性成分包括皂苷类、黄酮类及多糖类等^[11-13]。为此,本研究采用HPLC法测定黄芪中3种皂苷类与5种黄酮类成分的含量,进一步分

析各成分之间及其与产地、等级划分、生长年限、外观特征等因素的相关性,以期为黄芪质量的科学评价提供依据。

1 材料

1.1 主要仪器

2695 高效液相色谱仪(美国 Waters); 2200 蒸发光散射检测器(奥泰); LC-2030C 高效液相色谱仪(日本岛津); BP211D 电子分析天平(德国赛多利斯); ME204 电子分析天平(瑞士梅特勒-托利多)。

1.2 主要药品与试剂

对照品:黄芪甲苷(中国食品药品检定研究院,批号:110781-202219,纯度96.2%);黄芪皂苷 I(批号:PS000459,纯度99.75%);黄芪皂苷 II(批号:PS01873,纯度99.77%);9,10-二甲氧基紫檀烷-3-*O*-β-*D*-葡萄糖苷(黄芪紫檀烷苷,批号:PS020771,纯度96.8%);毛蕊异黄酮葡萄糖苷(批号:PS013211,纯度99.89%);芒柄花苷(批号:000671,纯度99.34%);7-羟基-4'-甲氧基异黄酮(芒柄花素,批号:012500,纯度99.48%);毛蕊异黄酮(批号:010251,纯度99.02%)均购自成都普思生物科技股份有限公司;乙腈为色谱纯,其余试剂均为分析纯,水为超纯水。

黄芪药材产自陕西省榆林市绥德县，经陕西省食品药品检验研究院中药室副主任药师吴芳鉴定为豆科植物蒙古黄芪 [*Astragalus membranaceus* (Fisch.) Bge. var. *Mongholicus* (Bge.) Hsiao] 的干燥根，划分等级为产地提供，样品信息见表 1。

2 方法与结果

2.1 黄芪甲苷的含量测定

参照《中国药典（2025 年版）》一部^[1] 黄芪含量测定项下黄芪甲苷的测定方法进行，结果见表 2。

表1 25 批黄芪样品信息

Table 1. Information of 25 batches of *Astragalus membranaceus*

编号	产地等级划分	生长年限（年）	总长（cm）	小头直径（mm）	大头直径（mm）	粉末颜色
H1	统条	3	55	3	13	较白
H2	统条	10	70	3	15	黄白色
H3	4等	10	60	5	15	黄白色
H4	4等	7	60	5	14	黄白色
H5	统条	7	60	3	19	较黄
H6	3等	5	40	10	20	黄白色
H7	2等	7	30	10	20	黄白色
H8	3等	10	30	10	19	较黄
H9	1等	7	40	10	20	较黄
H10	4等	3	40	6	9	较白
H11	统条	5	60	2	19	黄白色
H12	5等	7	50	5	10	黄白色
H13	5等	5	50	3	10	黄白色
H14	1等	5	45	5	15	黄白色
H15	1等	10	30	10	24	黄白色
H16	5等	10	70	2	10	黄白色
H17	2等	10	60	5	15	较黄
H18	3等	3	30	7	18	较白
H19	特等	7	35	10	29	较黄
H20	5等	3	35	3	8	较白
H21	3等	7	50	5	20	黄白色
H22	特等	10	50	5	25	较黄
H23	2等	5	55	5	20	黄白色
H24	4等	5	55	3	15	黄白色
H25	特等	5	55	3	20	黄白色

表2 黄芪中各成分含量测定结果（%，n=2）

Table 2. Determination results of the content of each component in *Astragalus membranaceus*（%，n=2）

编号	黄芪甲苷	黄芪皂苷I	黄芪皂苷II	芒柄花素	芒柄花苷	毛蕊异黄酮	毛蕊异黄酮葡萄糖苷	黄芪紫檀烷苷
H1	0.256 7	0.373 9	0.027 7	—	0.028 7	0.001 3	0.077 0	0.029 1
H2	0.271 3	0.274 8	0.017 4	0.000 6	0.021 2	0.001 5	0.082 2	0.038 2
H3	0.166 6	0.168 6	0.014 4	0.000 6	0.023 1	0.001 4	0.085 4	0.032 3
H4	0.186 2	0.220 2	0.020 0	—	0.021 9	0.001 6	0.075 5	0.036 6
H5	0.149 5	0.140 3	0.012 9	—	0.023 9	0.001 7	0.086 2	0.046 0
H6	0.157 0	0.188 3	0.017 3	0.002 1	0.017 9	0.004 5	0.081 9	0.037 6
H7	0.092 8	0.097 9	0.013 6	0.002 4	0.016 6	0.005 5	0.079 3	0.055 0
H8	0.126 6	0.149 0	0.014 1	0.001 9	0.022 4	0.004 9	0.080 9	0.037 8
H9	0.080 0	0.077 9	0.010 8	0.003 0	0.015 0	0.008 5	0.070 8	0.048 3
H10	0.193 1	0.341 6	0.028 8	0.000 6	0.036 6	0.001 0	0.065 6	0.013 1
H11	0.188 5	0.254 3	0.018 2	—	0.027 1	0.001 3	0.091 9	0.035 4
H12	0.223 9	0.240 9	0.020 9	—	0.023 6	0.001 8	0.089 0	0.042 0
H13	0.396 8	0.549 9	0.041 2	0.000 8	0.027 3	0.001 9	0.092 7	0.046 2

续表2

编号	黄芪甲苷	黄芪皂苷I	黄芪皂苷II	芒柄花素	芒柄花苷	毛蕊异黄酮	毛蕊异黄酮葡萄糖苷	黄芪紫檀烷苷
H14	0.123 1	0.139 6	0.013 5	0.001 1	0.020 1	0.002 9	0.072 8	0.025 6
H15	0.080 4	0.040 7	0.008 5	0.002 4	0.015 6	0.010 5	0.086 3	0.044 3
H16	0.261 9	0.269 9	0.026 5	—	0.021 8	0.001 9	0.078 2	0.044 3
H17	0.143 1	0.145 3	0.013 8	0.002 3	0.016 1	0.005 8	0.072 4	0.037 4
H18	0.117 1	0.137 3	0.020 5	0.000 6	0.037 4	0.000 9	0.074 4	0.016 9
H19	0.081 2	0.034 9	0.006 2	0.001 8	0.017 9	0.005 2	0.095 7	0.054 5
H20	0.198 0	0.280 0	0.022 9	0.000 7	0.025 0	0.000 9	0.049 7	0.009 0
H21	0.142 2	0.104 1	0.014 8	0.000 7	0.019 6	0.002 4	0.080 9	0.056 1
H22	0.081 1	0.071 8	0.008 6	0.0024	0.020 2	0.007 1	0.098 7	0.054 1
H23	0.124 7	0.107 2	0.011 5	—	0.019 5	0.001 8	0.082 9	0.044 2
H24	0.152 3	0.166 1	0.020 8	0.000 7	0.023 2	0.001 8	0.086 9	0.041 3
H25	0.083 1	0.091 2	0.007 8	—	0.023 0	0.001 2	0.074 6	0.030 8

注：“—”表示未检出。

2.2 黄芪皂苷I、黄芪皂苷II的含量测定

2.2.1 色谱条件

采用蒸发光散射检测器 HPLC 法，色谱柱为 SHISEIDO SPOLAR C₁₈ 柱（250 mm×4.6 mm，5 μm），流动相为乙腈-水（40：60），流速为 1.0 mL/min，柱温为 35 ℃，进样量为 10 μL。理论板数按黄芪皂苷 I 峰计应不低于 4 000^[14]。

2.2.2 溶液的制备

混合对照品溶液：精密称取黄芪皂苷 I 对照品 14.43 mg、黄芪皂苷 II 对照品 6.63 mg，置于同一 20 mL 量瓶中，加甲醇溶解并定容至刻度，摇匀，即得黄芪皂苷 I 和黄芪皂苷 II 浓度分别为 0.721 5 mg/mL 和 0.331 5 mg/mL 的混合对照品溶液。

供试品溶液：取本品适量，粉碎，过四号筛，精密称取约 3 g，置具塞锥形瓶中，加甲醇 50 mL，加热回流 1 h，放冷，滤过，滤液蒸干，残渣加适量甲醇溶解，转移至 10 mL 量瓶中，用甲醇稀释至刻度，摇匀，滤过，即得。HPLC 色谱图见图 1。

2.2.3 线性关系考察

精密吸取混合对照品溶液 2、4、8、10、15、20 μL 注入液相色谱仪，按“2.2.1”项下色谱条件进样测定，记录峰面积。以进样量（μg）的对数值为横坐标（X）、峰面积为纵坐标（Y）进行线性回归（表 3）。结果表明黄芪皂苷 I 和

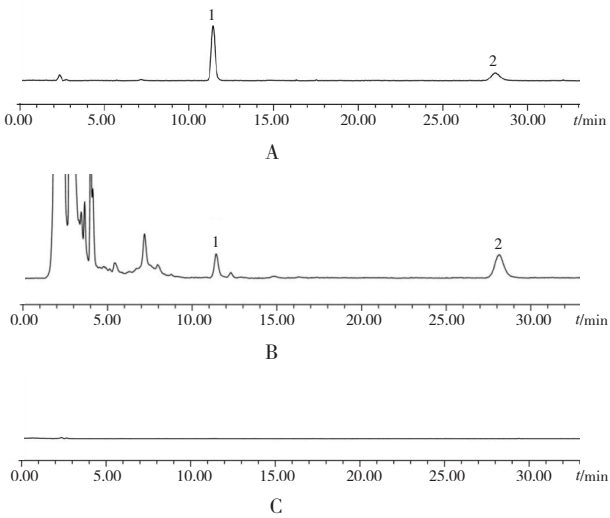


图1 皂苷类成分的HPLC色谱图

Figure 1. HPLC chromatograms of saponin components
注：A. 对照品溶液；B. 供试品溶液；C. 空白溶剂（甲醇）；1. 黄芪皂苷II；2. 黄芪皂苷I。

黄芪皂苷 II 在一定范围内线性关系良好。

通过逐步稀释对照品溶液，以信噪比约为 3：1 时确定检测限，信噪比约为 10：1 时确定定量限，结果见表 3。

2.2.4 精密度试验

取同一混合对照品溶液，按“2.2.1”项下色谱条件连续进样 6 次，记录黄芪皂苷 I 和黄芪皂苷 II 的峰面积。计算结果显示，二者峰面积的 RSD 分别为 2.45% 和 2.07%（n=6），表明仪器精密度良好。

表3 皂苷类成分线性关系考察

Table 3. Linear relationship investigation of saponin components

成分	线性方程	r	线性范围（μg）	检测限（mg/kg）	定量限（mg/kg）
黄芪皂苷I	Y=1.156 471X+5.425 355	0.999 9	1.443~14.430	0.05	0.15
黄芪皂苷II	Y=5.425 355X+6.259 011	0.999 9	0.663~6.630	0.02	0.06

2.2.5 稳定性试验

取同一供试品溶液（编号：H2），于室温下分别放置 0、2、4、8、12、24 h 后取样，按“2.2.1”项下色谱条件进样测定，记录黄芪皂苷 I 和黄芪皂苷 II 的峰面积。计算结果显示，二者峰面积的 *RSD* 分别为 2.37% 和 2.23% ($n=6$)，表明供试品溶液在 24 h 内稳定性良好。

2.2.6 重复性试验

取同一样品（编号：H2）6 份，按“2.2.2”项下方法平行制备 6 份供试品溶液，并按“2.2.1”项下色谱条件进样测定，记录黄芪皂苷 I 和黄芪皂苷 II 的峰面积。计算结果显示，二者的平均含量分别为 0.274 8% 和 0.017 4%，*RSD* 分别为 1.20% 和 2.40% ($n=6$)，表明该方法重复性良好。

2.2.7 回收率试验

精密吸取黄芪皂苷 I（浓度：721.5 $\mu\text{g/mL}$ ）3 mL 及黄芪皂苷 II（浓度：331.5 $\mu\text{g/mL}$ ）对照品溶液 1 mL，分别精密加入重复性试验中已知含量的样品（编号：H2）粉末 1.5 g。按“2.2.2”项下方法平行制备 6 份供试品溶液，并按“2.2.1”项下色谱条件进样测定，记录黄芪皂苷 I 和黄芪皂苷 II 的峰面积。计算结果显示，二者的平均回收率分别为 95.57% 和 95.69%，*RSD* 分别为 0.89% 和 2.11% ($n=6$)，表明该方法回收率良好。

2.2.8 样品测定

取各批黄芪样品，按“2.2.2”项下方法制备供试品溶液，并按“2.2.1”项下色谱条件，与对照品溶液一同进样，测定峰面积。采用外标法分别计算样品中黄芪皂苷 I 和黄芪皂苷 II 的含量，结果见表 2。

2.3 黄酮类成分的含量测定

2.3.1 色谱条件

采用二极管阵列检测器 HPLC 法，色谱柱为 SHISEIDO SPOLAR C_{18} 柱（250 mm \times 4.6 mm，5 μm ），流动相为乙腈（A）-0.1% 磷酸水溶液（B），梯度洗脱（0~1 min，10% A；1~45 min，10% \rightarrow 30% A；45~55 min，30% \rightarrow 40% A）；流速为 1.0 mL/min，检测波长为 205 nm（紫檀烷苷）和 250 nm（毛蕊异黄酮葡萄糖苷、芒柄花苷、毛蕊异黄酮和芒柄花素），柱温为 35 $^{\circ}\text{C}$ ，进样量为 10 μL 。理论板数按毛蕊异黄酮峰计应不低于 4 000^[15]。

2.3.2 溶液的制备

混合对照品溶液：精密称取毛蕊异黄酮葡萄糖苷对照品 43.59 mg，置 50 mL 量瓶中；另分别精密称取芒柄花苷 21.63 mg、黄芪紫檀烷苷 42.78 mg、毛蕊异黄酮 39.92 mg、芒柄花素 25.91 mg，分别置 20 mL 量瓶中。各加 80% 甲醇溶解并稀释至刻度，摇匀，得各单一对照品储备液。分别精密吸取上述毛蕊异黄酮葡萄糖苷储备液 3 mL，以及芒柄花苷、黄芪紫檀烷苷、毛蕊异黄酮、芒柄花素储备液各 1 mL，置同一 50 mL 量瓶中，加 80% 甲醇稀释至刻度，摇匀，即得混合对照品溶液。该溶液中各成分浓度依次为：毛蕊异黄酮葡萄糖苷 52.308 $\mu\text{g/mL}$ 、芒柄花苷 21.63 $\mu\text{g/mL}$ 、黄芪紫檀烷苷 42.78 $\mu\text{g/mL}$ 、毛蕊异黄酮 39.92 $\mu\text{g/mL}$ 、芒柄花素 25.91 $\mu\text{g/mL}$ 。

供试品溶液：同“2.2.2”项下方法。HPLC 色谱图见图 2。

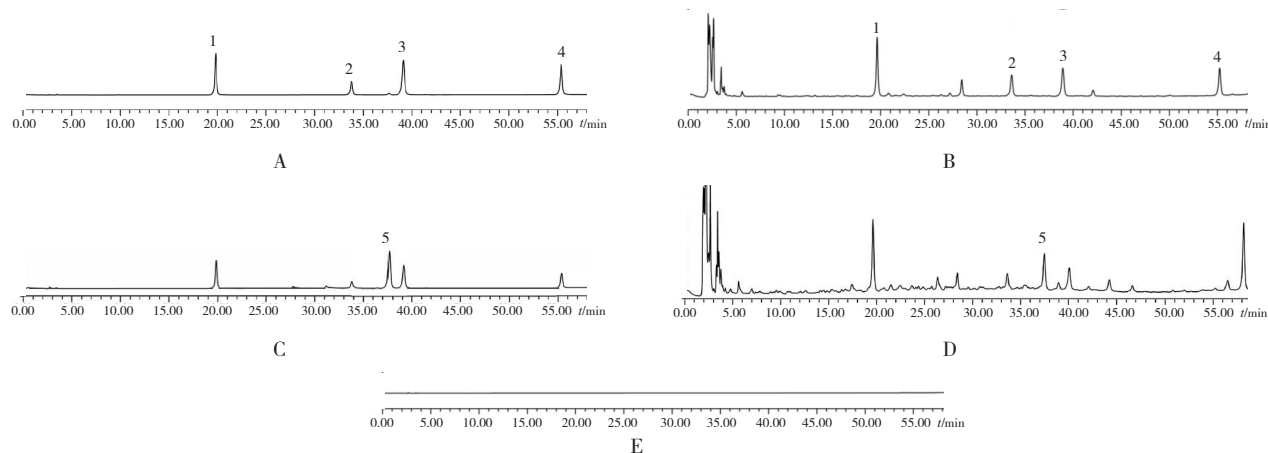


图2 黄酮类成分的HPLC色谱图

Figure 2. HPLC chromatograms of flavonoid compounds

注：A. 对照品溶液（250 nm）；B. 供试品溶液（250 nm）；C. 对照品溶液（205 nm）；D. 供试品溶液（205 nm）；E. 空白溶剂（甲醇）；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. 黄芪紫檀烷苷。

2.3.3 线性关系考察

精密吸取混合对照品溶液 1、2、5、10、15、20 μL 注入液相色谱仪，按“2.3.1”项下色谱条件进样测定，记录峰面积。以进样量为横坐标（*X*, ng）、峰面积为纵坐标（*Y*）进行线性回

归（表 4）。结果表明各黄酮类成分在一定范围内线性关系良好。

通过逐步稀释对照品溶液，以信噪比约为 3：1 时确定检测限，信噪比约为 10：1 时确定定量限，结果见表 4。

表4 黄酮类成分线性关系考察
Table 4. Linear relationship investigation of flavonoid compounds

成分	线性方程	<i>r</i>	线性范围（ng）	检测限（g/kg）	定量限（g/kg）
毛蕊异黄酮葡萄糖苷	$Y=-1.343\ 295\times10^3X+3.488\ 528\times10^3$	0.999 9	52.31~1 046.16	0.002	0.006
芒柄花苷	$Y=-1.721\ 067\times10^3X+3.585\ 137\times10^3$	0.999 9	43.26~432.60	0.002	0.006
黄芪紫檀烷苷	$Y=-6.275\ 965\times10^3X+9.357\ 667\times10^3$	0.999 9	42.78~855.60	0.002	0.006
毛蕊异黄酮	$Y=-2.233\ 817\times10^3X+5.291\ 976\times10^3$	0.999 9	39.92~798.40	0.001	0.003
芒柄花素	$Y=-1.578\ 165\times10^3X+6.257\ 183\times10^3$	0.999 9	25.91~518.20	0.002	0.006

2.3.4 精密度试验

取同一混合对照品溶液，按“2.3.1”项下色谱条件连续进样 6 次，记录各黄酮类成分的峰面积。计算结果显示，毛蕊异黄酮葡萄糖苷、芒柄花苷、黄芪紫檀烷苷、毛蕊异黄酮和芒柄花素峰面积的 *RSD* 分别为 0.37%、0.33%、0.42%、0.33% 和 0.31%（*n*=6），表明仪器精密度良好。

2.3.5 稳定性试验

取同一供试品溶液（编号：H2），于室温下分别放置 0、2、4、8、12、24 h 后取样，按“2.3.1”项下色谱条件进样测定，记录各黄酮类成分的峰面积。计算结果显示，毛蕊异黄酮葡萄糖苷、芒柄花苷、黄芪紫檀烷苷、毛蕊异黄酮和芒柄花素峰面积的 *RSD* 分别为 1.05%、1.73%、2.01%、1.36% 和 1.24%（*n*=6），表明供试品溶液在 24 h 内稳定性良好。

2.3.6 重复性试验

取同一样品（编号：H2）6 份，按“2.3.2”项下方法平行制备 6 份供试品溶液，并按“2.3.1”项下色谱条件进样测定，记录各黄酮类成分的峰面积。计算结果显示，毛蕊异黄酮葡萄糖苷、芒柄花苷、黄芪紫檀烷苷、毛蕊异黄酮和芒柄花素的平均含量分别为 0.001 4%、0.020 0%、0.035 0%、0.001 4% 和 0.000 5%，*RSD* 分别为 0.31%、1.93%、0.67%、0.45% 和 0.48%（*n*=6），表明该方法重复性良好。

2.3.7 回收率试验

精密吸取毛蕊异黄酮葡萄糖苷（浓度：1 356.5 μg/mL）1 mL、芒柄花苷（浓度：1 081.5 μg/mL）0.2 mL、黄芪紫檀烷苷（浓度：2 139.0 μg/mL）0.3 mL、毛蕊异黄酮（浓度：19.96 μg/mL）1 mL、芒柄花素（浓度：12.955 μg/mL）对照品溶液 1 mL，分别精密加入

重复性试验中已知含量的样品（编号：H2）粉末 1.5 g。按“2.3.2”项下方法平行制备 6 份供试品溶液，并按“2.3.1”项下色谱条件进样测定，记录各黄酮类成分的峰面积。计算结果显示，毛蕊异黄酮葡萄糖苷、芒柄花苷、黄芪紫檀烷苷、毛蕊异黄酮和芒柄花素的平均回收率分别为 97.05%、95.21%、93.70%、94.75% 和 96.47%，*RSD* 分别为 1.41%、3.19%、2.04%、2.69% 和 2.23%（*n*=6），表明该方法回收率良好。

2.3.8 样品测定

取各批黄芪样品，按“2.3.2”项下方法制备供试品溶液，并按“2.3.1”项下色谱条件，与对照品溶液一同进样，测定峰面积。采用外标法分别计算样品中各黄酮类成分的含量，结果见表 2。

2.4 相关性分析

2.4.1 斯皮尔曼相关性分析

由于规格等级与粉末颜色这两个变量在数据上呈现离散特征，为分析不同生长年限下黄芪外观性状的 6 个因素与各成分含量间的相关性，选用斯皮尔曼秩相关系数进行分析。相关性热力图及具体数值见图 3 及表 5。

采用双尾检验，以 *P*<0.05 为差异有统计学意义。分析表明，黄芪甲苷的含量与多个外观性状指标呈负相关。具体表现为：与产地等级（-0.821，*P*<0.01）、大头直径（-0.805，*P*<0.01）呈现强负相关；与小头直径（-0.566，*P*<0.01）、粉末颜色（-0.523，*P*<0.01）则呈中等负相关。黄芪皂苷 I、黄芪皂苷 II 及芒柄花苷的含量与绝大多数外观因素同样呈现负相关。其中，规格等级与黄芪皂苷 I（-0.845，*P*<0.01，强相关）、黄芪皂苷 II（-0.760，*P*<0.01，强相关）和芒柄花苷（-0.649，*P*<0.01，

中等偏强相关)均呈显著的负相关关系。

与上述成分不同,部分成分与外观性状呈正相关趋势:芒柄花素与规格等级(0.607, $P<0.01$, 中等正相关)、小头直径(0.668, $P<0.01$, 强正相关)及颜色(0.457, $P<0.05$, 中等正相关)呈正相关。毛蕊异黄酮与生长年限(0.604, $P<0.01$, 中等正相关)、大头直径(0.526, $P<0.01$, 中等正相关)及颜色(0.710, $P<0.01$, 强正相关)呈正相关。黄芪紫檀烷苷与颜色(0.616, $P<0.01$, 中等正相关)有显著的正相关性。毛蕊异黄酮葡萄糖苷与各因素相关性整体较弱且不显著,仅与药材大头直径(0.378, $P=0.062$)呈弱的正相关趋势。

2.4.2 因子分析

因子分析的适用性评估结果显示,KMO 检验值为 0.635 (>0.5),巴特利特球形度检验的 P 值为 0.000 (<0.05),这表明各成分含量数据之间存在显著相关性,适合进行因子分析。

在总方差解释中,提取出 3 个特征值大于 1 的公共因子(初始特征值分别为:4.532, 1.614, 1.053),其累积方差贡献率为 89.974% ($>80\%$),表明这 3 个因子能够充分代表原始数据信息,分析结果可靠。旋转后累积贡献率保持不变,使得因子结构更加清晰。

由表 6 旋转后的因子载荷系数可知:因子 1 主要代表了黄芪甲苷、黄芪皂苷 I 和黄芪皂苷 II,这 3 种成分在其上具有非常高的正载荷 (>0.9)。因子 2 主要与芒柄花素、芒柄花苷和毛蕊异黄酮相关。其中,芒柄花苷表现为负相关,而芒柄花素和毛蕊异黄酮表现为正相关。因子 3 主要代表了毛蕊异黄酮葡萄糖苷和黄芪紫檀烷苷,两者与其呈极强的正相关。各成分的共同度介于 0.715 至 0.976 之间,说明提取的公共因子对原始变量的解释能力较强,信息保留完整。

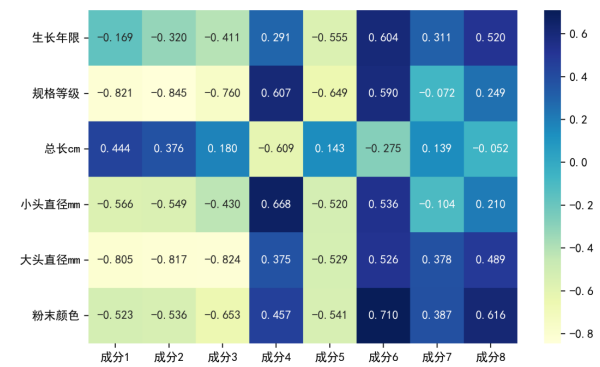


图3 斯皮尔曼相关系数热力图

Figure 3. Heatmap of Spearman's correlation coefficient
注:成分1~8分别为黄芪甲苷、黄芪皂苷I、黄芪皂苷II、芒柄花素、芒柄花苷、毛蕊异黄酮、毛蕊异黄酮葡萄糖苷和黄芪紫檀烷苷。

表5 斯皮尔曼相关性显著性水平

Table 5. Spearman correlation significance level

成分	生长年限	等级划分	总长 (cm)	小头直径 (mm)	大头直径 (mm)	粉末颜色
黄芪甲苷	0.418	0.000	0.026	0.003	0.000	0.007
黄芪皂苷I	0.118	0.000	0.064	0.004	0.000	0.006
黄芪皂苷II	0.041	0.000	0.390	0.032	0.000	0.000
芒柄花素	0.158	0.001	0.001	0.000	0.065	0.021
芒柄花苷	0.004	0.000	0.495	0.008	0.007	0.005
毛蕊异黄酮	0.001	0.002	0.184	0.006	0.007	0.000
毛蕊异黄酮葡萄糖苷	0.130	0.733	0.507	0.622	0.062	0.056
黄芪紫檀烷苷	0.008	0.231	0.805	0.315	0.013	0.001

表6 旋转后因子载荷系数表

Table 6. Factor load coefficient after rotation

成分	旋转后因子载荷系数			共同度 (公因子方差)
	因子1	因子2	因子3	
黄芪甲苷	0.936			0.947
黄芪皂苷I	0.941			0.976
黄芪皂苷II	0.926			0.953
芒柄花素		0.928		0.916
芒柄花苷		-0.678		0.715
毛蕊异黄酮		0.892		0.915
毛蕊异黄酮葡萄糖苷			0.932	0.870
黄芪紫檀烷苷			0.856	0.906

3 讨论

3.1 外在因素与化学成分的关联性

黄芪药材的传统产地等级划分依赖外在形态与生长周期,即默认生长年限越长、根部直径越粗的药材,等级越高、品质越优。这一约定的形成与传统认知中“药材形态越饱满、生长周期越长,有效成分积累越充分”的经验逻辑一致,且因操作简单、直观易懂而得以延续。

斯皮尔曼相关性分析得出的结果显示,传统认知中高等级对应的外在特征(长年限、粗直径、深颜色)与部分核心活性成分(黄芪甲苷、黄芪皂苷 I、黄芪皂苷 II 及芒柄花苷)的含量变化呈现显著负相关,这一负相关规律的形成,可能随着生长年限延长、根部直径增粗,枯朽或老化现象使部分活性成分的合成与积累能力下降。

与皂苷类成分相反,黄芪中多数黄酮类成分(如毛蕊异黄酮葡萄糖苷、毛蕊异黄酮等)的含量与生长年限、产地等级、直径、颜色呈显著正相关。这一关联趋势与文献^[16]的研究结论契合,该文献指出,毛蕊异黄酮葡萄糖苷、毛蕊异黄酮随生长年限增长呈上升趋势。推测其原因可能与植物的适应环境和衰老调节有关。

结合上述相关性分析结果及各成分含量的变化趋势,建议传统仅依据外在形态的等级划分标准需进一步优化,形成外在形态与化学成分含量的协同判定,并建立“皂苷-黄酮平衡”的等级核心指标。鉴于皂苷类与黄酮类成分变化呈相反趋势,不可因追求高皂苷含量而选择过短年限、过细直径的药材,也不可因偏好黄酮类成分而盲目选择过长期限、过粗直径的药材,需根据药用需求(如侧重免疫调节则优先关注皂苷含量,侧重心脑血管保护则侧重黄酮含量),设定两类成分的合理含量阈值。

仿野生黄芪的最佳生长年限:5~7 年,不宜超过 7 年。在此生长期,黄芪可实现皂苷类成分不低于《中国药典》标准、黄酮类成分充分积累的平衡状态。若生长年限不足 5 年时,黄酮类成分积累不足,可能导致心脑血管保护、抗逆相关的药理活性较弱;若生长年限超过 7 年时,则可能影响免疫调节等临床疗效,且黄芪甲苷等皂苷类成分含量可能存在品质不达标风险^[17]。

此外,直径和颜色可作为快速预判的辅助条件,建议:若小头直径不超过 1.2 cm、颜色呈浅(棕)黄色(而非深褐色),可初步判断为品质正常;若直径超过 1.8 cm 且颜色加深,则需警惕皂苷类成分含量偏低,建议通过实验室检测确认黄芪甲苷含量是否达标。

外在因素(等级、直径、颜色)与化学成分的相关性规律,为黄芪品质评价提供了“形态-成分联动”的科学依据。这不仅修正了传统经验的偏差,也为仿野生黄芪的规范化种植、采收与等级划分提供了可操作的优化方向。

3.2 各化学成分间的关联性

因子分析结果显示,黄芪皂苷 I 与黄芪皂苷 II 的含量变化均与黄芪甲苷呈现显著正相关。三者同属四环三萜类皂苷,共享环黄芪醇母核结构,其差异主要在于糖链修饰:黄芪皂苷 I 和黄芪皂苷 II 为二糖链结构,而黄芪甲苷为更复杂的三糖链结构。这种结构上的同源性为三者含量变化上的关联性提供了化学基础。在生物合成过程中,3 种皂苷的积累量会同步增加,从代谢转化规律来看,二糖链结构的黄芪皂苷 I、黄芪皂苷 II 可能是三糖链黄芪甲苷的合成前体,随着植株生长逐步向结构更复杂的黄芪甲苷转化,从而驱动三者含量变化呈现协同趋势。这一正相关关系表明,黄芪甲苷的含量水平可在一定程度上反映另外两种皂苷的积累状态。

此外,分析还揭示了皂苷与黄酮类成分之间复杂的网络关联:芒柄花苷与黄芪皂苷 I 呈负相关,而芒柄花素和毛蕊异黄酮则与黄芪皂苷 I 呈正相关;毛蕊异黄酮葡萄糖苷和黄芪紫檀烷苷的含量也与黄芪皂苷 II 呈正相关。尽管黄芪甲苷与部分黄酮类成分(如芒柄花苷)存在间接负相关,但其通过黄芪皂苷 I、黄芪皂苷 II 等中间成分,与芒柄花素、毛蕊异黄酮等黄酮类成分形成了关联网络。因此,黄芪甲苷的含量及其变化能在一定程度上反映陕西产仿野生黄芪药材整体活性成分的代谢平衡状态。同时,联合测定皂苷类与黄酮类成分的含量,可以避免单一成分指标可能导致的评价片面性,为药材质量的综合评估提供更全面的科学依据。

3.3 样品含量

本研究对陕西产仿野生黄芪的 8 种活性成分进行了含量测定,所有样品的农药残留及重金属

与有害元素残留均低于《中国药典》规定限度,表明其安全性良好。测定的黄芪甲苷(含量范围:0.080 0%~0.396 8%,个别样品含量存在不达标风险)与毛蕊异黄酮葡萄糖苷(含量范围:0.049 7%~0.098 7%)均符合《中国药典》含量要求(分别不低于0.080%与0.020%)。除上述三萜皂苷与黄酮类成分外,黄芪中还含有多糖、氨基酸、微量元素(如钨、硒、铬、锰、钴、铜)及香豆素类等多种化学成分。为进一步实现全面质量评价,后续研究将系统测定并分析本产区黄芪的上述各类成分,以期构建更完整的化学成分谱,为其品质评价与综合利用提供更全面的科学依据。

3.4 小结

本研究建立的多成分分析与综合评价方法,不仅可用于科学判定黄芪的最佳采收期,还可延伸应用于产业链下游的加工环节,为评估炮制、干燥等加工工艺的合理性提供依据。同时,该方法能为药品、中药提取物及保健品生产企业的原料筛选与质量控制提供量化的科学数据,并为相关质量标准的研究与制修订工作提供参考,从而助力“子洲黄芪”实现优质优价的市场机制,推动其品牌与产业的持续健康发展。

参考文献

- 1 中国药典 2025 年版.一部[S]. 2025: 323.
- 2 柏丁源,周雨萱,景凌洁,等.黄芪多糖提取制备技术、质量控制及免疫调控作用研究进展[J].中国药业,2025,34(8): 128-133. [Bai DY, Zhou YX, Jing LJ, et al. Research progress on extraction and preparation technology, quality control and immune regulation of astragalus polysaccharide[J]. China Pharmaceuticals, 2025, 34(8): 128-133.] DOI: 10.3969/j.issn.1006-4931.2025.08.030.
- 3 陈欢,杨正春.黄芪在气阴两虚型糖尿病中的应用[J].四川中医,2025,43(3): 214-218. [Chen H, Yang ZC. Application of Astragalus in Qi-Yin deficiency type diabetes mellitus[J]. Journal of Sichuan Traditional Chinese Medicine, 2025, 43(3): 214-218.] <https://d.wanfangdata.com.cn/periodical/sczy202503046>.
- 4 付慧婕,雷根平,董盛,等.黄芪的现代药理作用及研究进展[J].河北中医,2025,47(4): 695-699, 704. [Fu HJ, Lei GP, Dong S, et al. Modern pharmacological effects and research progress of *Astragalus membranaceus*[J]. Hebei Journal of Traditional Chinese Medicine, 2025, 47(4): 695-699, 704.] DOI: 10.3969/j.issn.1002-2619.2025.04.036.
- 5 Tao Y, Huang X, Wang J, et al. Exploring molecular mechanism of Huangqi in treating heart failure using network pharmacology[J]. Evid Based Complement Alternat Med, 2020, 2020: 6473745.

DOI: 10.1155/2020/6473745.

- 6 奚佳玉,苏圆锦,赵鲲鹏,等.黄芪药食同源的研究进展[J].华西药学杂志,2023,38(6): 718-724. [Xi JY, Su YJ, Zhao KP, et al. Research progress in medicinal and food homologous of Astragali Radix[J]. West China Journal of Pharmaceutical Sciences, 2023, 38(6): 718-724.] DOI: 10.13375/j.cnki.wcjps.2023.06.023.
- 7 郭杰,陶蕾,孙玉婧,等.黄芪资源的有效成分、生物活性及其在实践中的应用[J].现代园艺,2025,48(8): 188-190. [Guo J, Tao L, Sun YQ, et al. Active components, biological activities, and practical uses of *Astragalus membranaceus* resources[J]. Contemporary Horticulture, 2025, 48(8): 188-190.] DOI: 10.14051/j.cnki.xddy.2025.08.011.
- 8 高伟城,王小平,李鑫如,等.不同产地黄芪的多指标质量评价研究[J].山西中医药大学学报,2024,25(5): 508-513. [Gao WC, Wang XP, Li XR, et al. Study on multi-index quality evaluation of Huangqi from different producing areas[J]. Journal of Shanxi university of Chinese Medicine, 2024, 25(5): 508-513.] DOI: 10.19763/j.cnki.2096-7403.2024.05.06.
- 9 钟林静,吴禄祥,蓝晓东,等.基于HPLC指纹图谱方法和化学计量学分析的黄芪质量评价研究[J].中国处方药,2024,22(9): 37-40. [Zhong LJ, Wu LX, Lan XD, et al. Research on quality evaluation of *Astragalus membranaceus* based on HPLC fingerprint method and chemometric analysis[J]. Journal of China Prescription Drug, 2024, 22(9): 37-40.] DOI: 10.3969/j.issn.1671-945X.2024.09.010.
- 10 黄璐琦,詹志来,郭兰萍,编.中药材商品规格等级标准汇编[M].北京:中国中医药出版社:2019: 893.
- 11 张艳霞,刘海龙,王瑞琼,等.黄芪化学成分和药理作用及Q-Marker预测分析[J].中国新药杂志,2023,32(4): 410-419. [Zhang YX, Liu HL, Wang RQ, et al. Chemical constituents and pharmacological effects of Astragali Radix and predictive analysis on quality markers[J]. Chinese Journal of New Drugs, 2023, 32(4): 410-419.] DOI: 10.3969/j.issn.1003-3734.2023.04.011.
- 12 Alessandra D, Amirhossein N, Massimo L, et al. Astragalus (*Astragalus membranaceus* Bunge): botanical, geographical, and historical aspects to pharmaceutical components and beneficial role[J]. Rend Lincei Sci Fis Nat, 2021, 32: 625-642. DOI: 10.1007/s12210-021-01003-2.
- 13 李鸿,黎柳,黄秋晴,等.2013—2023年黄芪多糖研究文献可视化分析[J].中国中医药信息杂志,2025,32(6): 73-79. [Li H, Li L, Huang QQ, et al. Visualization analysis on research literature about astragalus polysaccharides from 2013 to 2023[J]. Chinese Journal of Information on Traditional Chinese Medicine, 2025, 32(6): 73-79.] DOI: 10.19879/j.cnki.1005-5304.202310446.
- 14 李紫岩,杨敏,王杰,等.以7种有效成分为指标评价内蒙古不同产地黄芪药材品质[J].中国现代中药,2020,22(1): 65-73. [Li ZY, Yang M, Wang J, et al. Evaluation of quality of Astragali Radix in different producing areas of Inner Mongolia with 7 active ingredients as indicators[J]. Modern Chinese Medicine, 2020, 22(1): 65-73.] DOI: 10.13313/j.issn.1673-4890.20190225006.
- 15 牟佳佳,陈芳,陈党辉,等.黄芪中5种黄酮类成分的含量

- 测定及其指纹图谱研究[J]. 药物评价研究, 2019, 42(5): 900–906. [Mou JJ, Chen F, Chen DH, et al. Study on the components determination of five flavonoids and HPLC fingerprints of Radix Astragali[J]. Drug Evaluation Research, 2019, 42(5): 900–906.] DOI: [10.7501/j.issn.1674-6376.2019.05.016](https://doi.org/10.7501/j.issn.1674-6376.2019.05.016).
- 16 董文静, 李哲, 张美, 等. 基于多指标含量测定的宁夏栽培黄芪质量研究[J]. 宁夏医科大学学报, 2024, 46(12): 1281–1287. [Dong WJ, Li Z, Zhang M, et al. Quality study of cultivated Astragalus in Ningxia based on multi-index content determination[J]. Journal of Ningxia Medical University, 2024, 46(12): 1281–1287.] DOI: [10.16050/j.cnki.issn1674-6309.2024.12.016](https://doi.org/10.16050/j.cnki.issn1674-6309.2024.12.016).
- 17 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): 451–461. [Zhang R, Cao QW, Li K, et al. Analysis of correlation between commercial traits and chemical characteristics and absolute growth years of Astragali Radix[J]. Chinese Traditional and Herbal Drugs, 2020, 51(2): 451–461.] DOI: [10.7501/j.issn.0253-2670.2020.02.023](https://doi.org/10.7501/j.issn.0253-2670.2020.02.023).
- 收稿日期: 2025 年 09 月 22 日 修回日期: 2026 年 01 月 12 日
本文编辑: 钟巧妮 李 阳