

多指标定量联合化学计量学分析和 TOPSIS 模型综合评价不同产地白马骨质量

王超^{1,2}, 吴健^{3,4,5}, 刘钢^{1,2*}

1. 安徽医科大学第三附属医院(合肥市第一人民医院) 药学部, 安徽 合肥 230001
2. 中华医学会临床药师学员及师资培训中心, 安徽 合肥 230001
3. 安徽中医药大学第一附属医院(安徽省中医院) 药学部, 安徽 合肥 230031
4. 安徽中医药大学第一临床医学院, 安徽 合肥 230031
5. 国家中医药管理局中药制剂三级实验室, 安徽 合肥 230031

摘要:目的 构建白马骨 *Serissa serissoides* 多指标定量测定方法, 结合化学计量学与加权逼近理想解排序(TOPSIS)模型, 对不同产地白马骨药材质量进行综合评价。方法 采用高效液相色谱法(HPLC), 建立白马骨中车叶草苷酸、去乙酰车叶草酸、鸡屎藤苷酸、牡荆素、松脂素、丁香树脂酚、豆甾醇、 β -谷甾醇、齐墩果酸、熊果酸 10 种成分的含量测定方法; 色谱条件设定为乙腈-0.2%磷酸(含 0.03%三乙胺)流动相, 检测波长 238、270、210 nm, 进样量 10 μ L, 柱温 30 $^{\circ}$ C, 体积流量 1.0 mL \cdot min⁻¹。参照《中国药典》2025 年版通则要求, 测定样品醇溶性浸出物、总灰分及酸不溶性灰分。运用 SPSS 26.0、SIMCA 14.1 软件, 对 20 批白马骨药材开展层次聚类分析(HCA)、主成分分析(PCA)、偏最小二乘法-判别分析(PLS-DA), 以变量投影重要性(VIP)值>0.9 为阈值, 筛选药材质量差异标志物; 同时采用 TOPSIS 模型对 20 批样品进行质量综合评分与优劣排序。**结果** 所建立的 10 种成分在各自质量浓度范围内线性关系良好; 各成分质量分数分别为 3.327~5.625、0.755~1.296、1.853~3.172、0.187~0.456、0.069~0.151、0.066~0.130、0.335~0.898、0.568~1.661、0.293~0.611、0.893~1.731 mg \cdot g⁻¹; 醇溶性浸出物、总灰分、酸不溶性灰分含量依次为 16.0%~32.4%、1.9%~7.2%、0.5%~1.7%。化学计量学分析可将 20 批白马骨药材分为 3 大类, PCA 共提取 2 个主成分, 累积方差贡献率达 91.968%; 基于 VIP 值筛选出车叶草苷酸、齐墩果酸、牡荆素、鸡屎藤苷酸、熊果酸、 β -谷甾醇共 6 种质量差异标志性成分, 可用于不同批次白马骨药材的质量评价。TOPSIS 分析表明, 各产地样品欧氏贴近度(C_i)为 0.2670~0.7026, 其中 S9(广东乳源县)、S11(广西隆安县)、S15(贵州绥阳县)、S12(广西上林县)、S8(广东平远县)批次药材综合质量更优。**结论** 建立的多指标定量检测方法精准、稳定、可靠, 可为白马骨药材质量控制及质量标准制订提供实验依据; 联合化学计量学与 TOPSIS 模型的评价体系科学直观, 适用于不同产地白马骨药材整体质量的综合评价。

关键词: 白马骨; 高效液相色谱法; 化学计量学; 加权逼近理想解排序; 质量差异评价; 车叶草苷酸; 去乙酰车叶草酸; 鸡屎藤苷酸; 牡荆素; 松脂素; 丁香树脂酚; 豆甾醇; β -谷甾醇; 齐墩果酸; 熊果酸

中图分类号: R286.2 文献标志码: A 文章编号: 1674-6376(2026)06-2046-11

DOI:10.7501/j.issn.1674-6376.2026.06.016

Comprehensive evaluation of quality of *Serissa serissoides* from different origin by multi-index quantitative combined chemometrics analysis and TOPSIS model

WANG Chao^{1,2}, WU Jian^{3,4,5}, LIU Gang^{1,2}

1. Department of Pharmacy, The Third Affiliated Hospital of Anhui Medical University (Hefei First People's Hospital), Hefei 230001, China
2. Clinical Pharmacist Trainee and Teacher Training Center of Chinese Medical Association, Hefei 230001, China
3. Department of Pharmacy, The First Affiliated Hospital of Anhui University of Traditional Chinese Medicine (Anhui Provincial Hospital of Chinese Medicine), Hefei 230031, China
4. College of First Clinical Medical, Anhui University of Chinese Medicine, Hefei 230031, China

收稿日期: 2026-04-22

基金项目: 安徽省中医药传承创新科研项目(2024CCCX078)

作者简介: 王超(1982—), 男, 硕士, 主管药师, 研究方向为药剂学、药事管理。E-mail: awhfbn@163.com

*通信作者: 刘钢(1981—), 男, 硕士, 副主任药师, 研究方向为药剂学、临床路径合理用药、药品临床综合评价。E-mail: vn7234@163.com

5. State Administration of Traditional Chinese Medicine Chinese Medicine Preparations Level Three Laboratory, Hefei 230031, China

Abstract: Objective To establish a multi-index quantitative determination system for *Serissa serissoides* and conduct a comprehensive quality evaluation of different origin samples of this herb by combining chemometrics and the technique for order preference by similarity to ideal solution (TOPSIS) model. **Methods** A high-performance liquid chromatography (HPLC) method was developed for the determination of 10 active components, including asperulosidic acid, deacetylaspelulosidic acid, paederosidic acid, vitexin, pinosresinol, syringaresinol, stigmasterol, β -sitosterol, oleanolic acid, and ursolic acid in *S. serissoides*. The chromatographic conditions were set as follows: Mobile phase of acetonitrile-0.2% phosphoric acid (containing 0.03% triethylamine), detection wavelengths of 238 nm, 270 nm, and 210 nm, injection volume of 10 μ L, column temperature of 30 $^{\circ}$ C, and flow rate of 1.0 mL \cdot min $^{-1}$. The alcohol-soluble extractives, total ash, and acid-insoluble ash of the samples were determined in accordance with the requirements of the 2025 edition of the Chinese Pharmacopoeia. Hierarchical cluster analysis (HCA), principal component analysis (PCA), and partial least squares-discriminant analysis (PLS-DA) were performed using SPSS 26.0 and SIMCA 14.1 software. The variable importance in the projection (VIP) value > 0.9 was set as the screening threshold to identify the quality difference markers of the samples. Meanwhile, the TOPSIS model was used to conduct a comprehensive quality score and ranking of the 20 batches of samples. **Results** The established method showed good linearity for the 10 components within their respective concentration ranges. The mass fractions of the components were 3.327—5.625, 0.755—1.296, 1.853—3.172, 0.187—0.456, 0.069—0.151, 0.066—0.130, 0.335—0.898, 0.568—1.661, 0.293—0.611, and 0.893—1.731 mg \cdot g $^{-1}$, respectively. The contents of alcohol-soluble extractives, total ash, and acid-insoluble ash were 16.0%—32.4%, 1.9%—7.2%, and 0.5%—1.7%, respectively. Chemometrics analysis could classify the 20 batches of *S. serissoides* into three major categories. PCA extracted two principal components, with a cumulative variance contribution rate of 91.968%. Based on the VIP value, six quality difference marker components, including serissoside acid, oleanolic acid, vitexin, paederosidic acid, ursolic acid, and β -sitosterol, were screened out, which could be used to distinguish the quality of different batches of *S. serissoides*. TOPSIS analysis indicated that the Euclidean closeness (C_i) of the samples from different origins ranged from 0.267 0 to 0.702 6, with batches S9 (Ruyuan County, Guangdong), S11 (Long'an County, Guangxi), S15 (Suiyang County, Guizhou), S12 (Shanglin County, Guangxi), and S8 (Pingyuan County, Guangdong) having better overall quality. **Conclusion** The established multi-index quantitative detection method is accurate, stable, and reliable, providing experimental evidence for the quality control and standardization of *S. serissoides*. The evaluation system combining chemometrics and the TOPSIS model is scientific and intuitive, suitable for the comprehensive quality evaluation of *S. serissoides* from different origins.

Key words: *Serissa serissoides* (DC.) Druce; HPLC; chemometrics; TOPSIS method; quality difference evaluation; asperulosidic acid; deacetylaspelulosidic acid; paederosidic acid; vitexin; pinosresinol; syringaresinol; stigmasterol; β -sitosterol; oleanolic acid; ursolic acid

白马骨为茜草科植物白马骨 *Serissa serissoides* (DC.) Druce 的干燥全株^[1], 主要分布于广西、广东、贵州、四川、江苏、浙江等省区。该药具有祛风利湿、清热解毒之功效, 临床常用于治疗感冒发热、小儿疳积、黄疸型肝炎、肾盂肾炎、风湿性关节炎、肠炎泄泻、腰腿痹痛、妇女闭经及带下等病症^[2-3]。现代研究表明, 白马骨主要含环烯醚萜类、黄酮类、木脂素类、甾体类等化学成分^[4-5], 药理活性广泛^[6]。

目前白马骨虽已被多项地方药材标准收载, 但现有标准均未纳入化学成分含量测定项目。由于白马骨在我国自然分布范围广阔, 不同产地的气候、光照、降水、土壤及温度等生态条件差异显著, 易造成药材品质参差不齐, 整体质量难以有效把控。

因此, 亟需建立白马骨主要活性成分的定量检测方法, 并构建系统完善的药材质量评价体系。

化学计量学^[7]可通过统计学方法解析含量测定数据, 最大化挖掘数据中的有效特征信息, 实现样品分类甄别, 契合中药成分体系的模糊性与整体性特点, 现已成为中药质量评价与质量控制的重要数据解析工具, 在中药材品质研究中的应用日趋广泛^[8-9]。加权逼近理想解排序 (TOPSIS)^[10]同样基于统计学原理, 通过设定理想参照体系, 计算各评价样本与最优、最劣理想解的欧式距离, 完成药材品质优劣排序, 可有效规避主观评价带来的偏差, 评价结果直观可靠; 该方法常与化学计量学、灰色关联度分析法联用, 已广泛应用于中药材及中药制剂的综合质量评价^[11-12]。

本研究采用高效液相色谱 (HPLC) 法测定 20 批不同产地白马骨样品中多类活性成分含量, 包括环烯醚萜类的车叶草苷酸、去乙酰车叶草酸、鸡屎藤苷酸, 黄酮类的牡荆素, 木脂素类的松脂素、丁香树脂酚, 甾体类的豆甾醇、 β -谷甾醇, 以及三萜类的齐墩果酸、熊果酸; 同时参照药材常规检测要求, 测定样品醇溶性浸出物、总灰分及酸不溶性灰分指标。进一步结合层次聚类分析 (HCA)、主成分分析 (PCA)、偏最小二乘法-判别分析 (PLS-DA) 与 TOPSIS 法对多维度检测数据进行多元统计分析与综合评价, 完成不同产地白马骨药材的质量分级与排序, 以期为白马骨药材质量的规范化、科学化评价及质量标准完善提供理论依据与实验支撑。

1 材料

1.1 仪器

Quintix 224-1CN 型万分之一分析天平, 赛多利斯科学仪器有限公司; LC-2030C 3D 型 HPLC, 日

本岛津制作所; KQ-300DV 型超声波清洗器, 广州颖汉科技有限公司。

1.2 试药

对照品熊果酸 (批号 110742-202424)、齐墩果酸 (批号 110709-202510), 质量分数均 $\geq 98.2\%$, 中国食品药品检定研究院; 车叶草苷酸、去乙酰车叶草酸、鸡屎藤苷酸、牡荆素、松脂素、丁香树脂酚、豆甾醇和 β -谷甾醇 (批号依次为 CFS202201、CFS202201、CFS202201、CFS202301、CFS202201、CFS201502、CFS202301、CFS202302), 质量分数均 $\geq 98.0\%$, 武汉天植生物技术有限公司; 乙腈和磷酸 (色谱纯), 美国赛默飞世尔科技有限公司。

1.3 药材

白马骨药材经安徽医科大学第三附属医院刘钢副主任药师鉴定为茜草科植物白马骨 *Serissa serissoides* (DC.) Druce 的干燥全株, 药材信息见表 1。

表 1 白马骨药材产地信息

Table 1 Producing area information of *S. serissoides*

编号	产地	采集时间	编号	产地	采集时间
S1	浙江淳安县	2025 年 5 月	S11	广西隆安县	2025 年 5 月
S2	浙江安吉县	2025 年 5 月	S12	广西上林县	2025 年 5 月
S3	江苏溧阳市	2025 年 6 月	S13	广西金秀县	2025 年 5 月
S4	江苏盱眙县	2025 年 6 月	S14	贵州修文县	2025 年 6 月
S5	江苏句容市	2025 年 6 月	S15	贵州绥阳县	2025 年 6 月
S6	安徽金寨县	2025 年 5 月	S16	四川木里县	2025 年 5 月
S7	安徽休宁县	2025 年 5 月	S17	四川米易县	2025 年 5 月
S8	广东平远县	2025 年 6 月	S18	四川雷波县	2025 年 5 月
S9	广东乳源县	2025 年 6 月	S19	云南禄劝县	2025 年 6 月
S10	广东连平县	2025 年 6 月	S20	云南勐海县	2025 年 6 月

2 方法与结果

2.1 多成分含量测定

2.1.1 对照品溶液的制备 精密称取去乙酰车叶草酸、牡荆素、松脂素、丁香树脂酚、豆甾醇、 β -谷甾醇、齐墩果酸和熊果酸对照品适量, 用 70%乙醇配制成质量浓度分别为 0.594、0.170、0.058、0.046、0.412、0.570、0.292、0.608 $\text{mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 的对照品贮备液 I, 精密称取车叶草苷酸和鸡屎藤苷酸对照品适量, 用 70%乙醇配制成质量浓度分别为 0.910、0.632 $\text{mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 的对照品贮备液 II, 精密吸取贮备液 I 1 mL、贮备液 II 2 mL, 置同一 20 mL 量瓶中, 用 70%乙醇定容至刻度, 充分混匀, 即得含车叶草苷酸、去乙酰车叶草酸、鸡屎藤苷酸、牡荆素、松脂

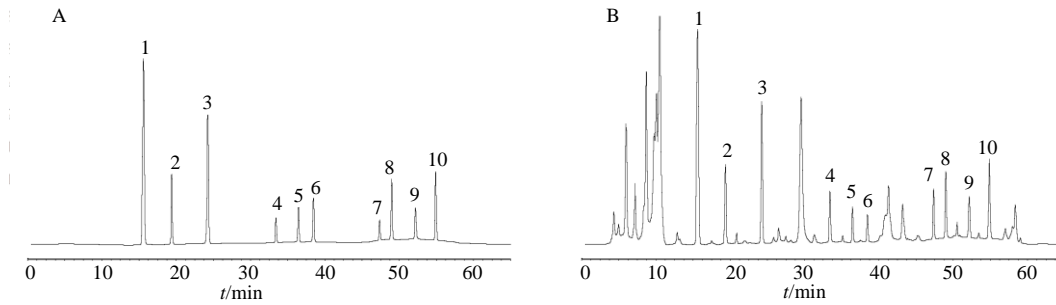
素、丁香树脂酚、豆甾醇、 β -谷甾醇、齐墩果酸、熊果酸质量浓度依次为 91.00、29.70、63.20、8.50、2.90、2.30、20.60、28.50、14.60、30.40 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 的混合对照品溶液。

2.1.2 供试品溶液的制备 取白马骨样品 (S1~S20), 除去杂质、洗净、润透、切段、干燥。按中国药典 2025 年版四部 (通则 0832) 第 II 法测得 20 批样品水分依次为 3.1%、4.6%、2.6%、4.7%、3.9%、6.1%、5.6%、2.8%、3.5%、5.1%、3.6%、4.5%、4.9%、3.3%、6.5%、5.4%、5.8%、5.7%、4.4%、4.9%。取样品适量, 粉碎, 取粉末约 0.6 g, 精密称定, 用 70%乙醇约 20 mL 超声 (40 kHz、300 W) 提取 45 min, 滤纸滤过, 70%乙醇冲洗滤渣, 合并滤液并定容至

25 mL, 摇匀, 经 0.22 μm 有机滤膜滤过, 续滤液即为白马骨供试品溶液。

2.1.3 色谱条件 采用 Phenomenex Ultracarb ODS C_{18} (250 mm \times 4.6 mm, 5 μm) 色谱柱; 流动相为乙腈 (A) -0.2%磷酸 (含 0.03%三乙胺, B) 梯度洗脱 0~11 min, 8% A; 11~26 min, 8% \rightarrow 22% A; 26~43 min, 22% \rightarrow 30% A; 43~58 min, 30.0% \rightarrow 76.0% A; 58~65 min, 76.0% \rightarrow 8% A; 进样体积

10 μL , 柱温 30 $^{\circ}\text{C}$, 体积流量 1.0 mL \cdot min $^{-1}$ 。检测波长 238 nm (0~26 min, 检测车叶草苷酸、去乙酰车叶草酸和鸡屎藤苷酸)、270 nm (26~43 min 检测牡荆素、松脂素和丁香树脂酚)、210 nm (43~65 min 检测豆甾醇、 β -谷甾醇、齐墩果酸和熊果酸); 在以上条件下, 白马骨中 10 个化学成分与相邻成分间分离度均 >1.5 , 理论板数按各成分计均大于 5 500 (图 1)。



1-车叶草苷酸; 2-去乙酰车叶草酸; 3-鸡屎藤苷酸; 4-牡荆素; 5-松脂素; 6-丁香树脂酚; 7-豆甾醇; 8- β -谷甾醇; 9-齐墩果酸; 10-熊果酸。
1-asperulosidic acid; 2-deacetylasperulosidic acid; 3-paederosidic acid; 4-vitexin; 5-pinoreosinol; 6-syringaresinol; 7-stigmasterol; 8- β -sitosterol; 9-oleanolic acid; 10-ursolic acid.

图 1 混合对照品 (A) 和供试品 (B) 溶液的 HPLC 图

Fig. 1 HPLC chromatogram of mixed reference substance (A) and test substance (B) solutions

2.1.4 线性关系考察 分别精密量取贮备液 I、II, 用 70%乙醇稀释 4、10、20、40、100 和 200 倍, 制得 6 个不同质量浓度的混合对照品溶液, 将混合对照品溶液按质量浓度从低到高进样, 以峰面积为纵坐标, 质量浓度为横坐标, 绘制标准曲线。取线性关系考察中质量浓度最低的溶液, 继续用 70%乙醇稀释并检测, 以信噪比为 3 计算检测限, 以信噪比为 10 计算定量限, 结果见表 2。

2.1.5 精密度考察 取白马骨 (S1) 样品, 按“2.1.2”项制备供试品溶液, 按“2.1.3”项方法连续进样 6 次, 记录车叶草苷酸、去乙酰车叶草酸、鸡屎藤苷酸、牡

荆素、松脂素、丁香树脂酚、豆甾醇、 β -谷甾醇、齐墩果酸和熊果酸色谱峰峰面积的 RSD 依次为 0.75%、1.25%、0.96%、1.52%、1.64%、1.71%、1.41%、1.32%、1.49%、1.13%。表明仪器精密度良好。

2.1.6 重复性考察 精密称取白马骨 (S1) 样品 6 份, 按“2.1.2”项方法制备供试品溶液, 按“2.1.3”项方法进样分析, 记录车叶草苷酸、去乙酰车叶草酸、鸡屎藤苷酸、牡荆素、松脂素、丁香树脂酚、豆甾醇、 β -谷甾醇、齐墩果酸和熊果酸色谱峰面积, 计算各成分含量的 RSD 值依次为 1.34%、1.46%、1.13%、1.84%、1.76%、1.97%、1.59%、1.51%、1.65%、

表 2 10 种成分线性关系

Table 2 Linear relationship of 10 components

成分	回归方程	r	线性范围/ $(\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1})$	检测限/ $(\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1})$	定量限/ $(\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1})$
车叶草苷酸	$Y=5.3402\times 10^6 X+643.2$	0.999 9	4.55~227.50	0.016	0.052
去乙酰车叶草酸	$Y=4.0127\times 10^6 X-1029.1$	0.999 3	2.97~148.50	0.049	0.158
鸡屎藤苷酸	$Y=4.4315\times 10^6 X-1134.5$	0.999 2	3.16~158.00	0.011	0.039
牡荆素	$Y=1.8253\times 10^6 X+764.9$	0.999 7	0.85~42.50	0.029	0.091
松脂素	$Y=1.5059\times 10^6 X+538.2$	0.999 6	0.29~14.50	0.038	0.125
丁香树脂酚	$Y=9.3641\times 10^5 X+1230.4$	0.999 8	0.23~11.50	0.053	0.174
豆甾醇	$Y=2.8106\times 10^6 X+881.5$	0.999 4	2.06~103.00	0.027	0.087
β -谷甾醇	$Y=3.4254\times 10^6 X+1537.8$	0.999 7	2.85~142.50	0.061	0.206
齐墩果酸	$Y=2.3476\times 10^6 X+1304.9$	0.999 9	1.46~73.00	0.025	0.081
熊果酸	$Y=4.8252\times 10^6 X+711.3$	0.999 2	3.04~152.00	0.079	0.260

1.60%。表明方法重复性良好。

2.1.7 稳定性考察 取白马骨(S1)样品,按“2.1.2”项方法制备供试品溶液,于制备 0、3、5、9、16、24 h 进样,计算车叶草苷酸、去乙酰车叶草酸、鸡屎藤苷酸、牡荆素、松脂素、丁香树脂酚、豆甾醇、 β -谷甾醇、齐墩果酸和熊果酸色谱峰峰面积的 RSD 依次为 0.93%、1.35%、1.16%、1.75%、1.73%、1.92%、1.53%、1.47%、1.64%、1.28%。表明样品溶液在 24 h 内稳定性良好。

2.1.8 加样回收率考察 取已知含量的白马骨(S1)约 0.3 g,精密称定,按含量的 80%、100%、120%加入混合对照品溶液(含车叶草苷酸、去乙酰车叶草酸、鸡屎藤苷酸、牡荆素、松脂素、丁香树脂酚、豆甾醇、 β -谷甾醇、齐墩果酸和熊果酸质量浓度分别为 1.272、0.281、0.702、0.098、0.031、0.024、0.194、0.263、0.146、0.349 mg·mL⁻¹),再按“2.1.2”项方法平行制备 3 份供试品溶液,按“2.1.3”项方法进样分析。10 个成分的加样回收率分别为 99.47%、98.42%、100.04%、97.85%、96.96%、97.96%、98.74%、

98.86%、97.80%、99.15%,RSD 分别为 1.20%、1.31%、1.14%、1.42%、1.38%、1.62%、1.24%、1.24%、1.58%、1.02%。表明方法准确度较高。

2.1.9 含量测定 分别取 20 批白马骨样品,按“2.1.2”项方法制备供试品溶液,按“2.1.3”项方法进样分析,计算车叶草苷酸、去乙酰车叶草酸、鸡屎藤苷酸、牡荆素、松脂素、丁香树脂酚、豆甾醇、 β -谷甾醇、齐墩果酸和熊果酸质量分数,结果见表 3。

2.2 化学计量学质量评价体系的建立

2.2.1 HCA 采用 SPSS 26.0 软件,以车叶草苷酸、去乙酰车叶草酸、鸡屎藤苷酸、牡荆素、松脂素、丁香树脂酚、豆甾醇、 β -谷甾醇、齐墩果酸、熊果酸含量数据为指标进行 HCA,结果见图 2,当平方欧氏距离为 10 时,20 批白马骨样品可分为 3 类,S1~S7 聚为第 I 类,S8~S15 聚为第 II 类,S16~S20 聚为第 III 类。

2.2.2 PCA 应用 SIMCA 14.1 软件,以车叶草苷酸、去乙酰车叶草酸、鸡屎藤苷酸、牡荆素、松脂素、丁香树脂酚、豆甾醇、 β -谷甾醇、齐墩果酸、

表 3 20 批白马骨 10 个成分含量测定结果

Table 3 Contents determination results of 10 components in 20 batches of *S. serissoides*

批次	质量分数/(mg·g ⁻¹)									
	车叶草苷酸	去乙酰车叶草酸	鸡屎藤苷酸	牡荆素	松脂素	丁香树脂酚	豆甾醇	β -谷甾醇	齐墩果酸	熊果酸
S1	4.267	0.958	2.334	0.326	0.114	0.079	0.639	0.892	0.497	1.156
S2	3.928	0.871	2.583	0.418	0.144	0.091	0.603	0.948	0.573	1.240
S3	4.436	0.982	2.449	0.456	0.124	0.101	0.413	0.984	0.595	1.172
S4	4.359	0.915	2.259	0.376	0.130	0.087	0.498	1.182	0.565	1.313
S5	4.210	0.937	2.387	0.402	0.136	0.095	0.569	1.059	0.611	1.352
S6	4.664	0.983	2.190	0.391	0.121	0.099	0.483	1.125	0.584	1.395
S7	4.337	0.865	2.038	0.340	0.114	0.081	0.442	1.215	0.539	1.240
S8	5.137	1.210	2.991	0.301	0.095	0.125	0.720	1.541	0.544	0.986
S9	5.365	1.264	3.172	0.364	0.089	0.116	0.756	1.599	0.518	1.040
S10	5.470	1.186	2.860	0.254	0.084	0.121	0.791	1.484	0.582	0.955
S11	5.578	1.296	3.109	0.314	0.078	0.130	0.898	1.661	0.482	0.893
S12	5.625	1.237	3.041	0.245	0.073	0.112	0.827	1.427	0.459	1.089
S13	5.067	1.154	2.922	0.277	0.069	0.107	0.681	1.275	0.528	1.125
S14	5.077	1.223	2.952	0.296	0.099	0.119	0.712	1.552	0.539	0.978
S15	5.302	1.278	3.131	0.358	0.093	0.110	0.748	1.609	0.554	1.032
S16	3.327	0.755	1.925	0.187	0.100	0.068	0.383	0.627	0.293	1.680
S17	3.682	0.778	2.256	0.313	0.099	0.071	0.429	0.708	0.408	1.498
S18	3.507	0.813	1.985	0.265	0.151	0.068	0.365	0.691	0.355	1.642
S19	3.397	0.786	1.853	0.204	0.104	0.066	0.335	0.568	0.384	1.731
S20	3.668	0.832	2.037	0.287	0.111	0.070	0.418	0.718	0.349	1.598

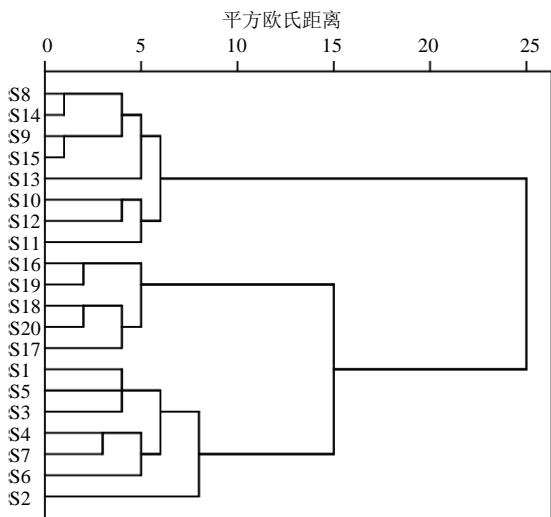


图 2 20 批白马骨 HCA 图

Fig. 2 HCA diagram of 20 batches of *S. serissoides*

熊果酸共 10 项指标的含量数据构建 PCA 模型。设定特征值 >1、累积方差贡献率 >85.0% 为标准, 选出 2 个主成分, 主成分 1 特征值 7.260, 方差贡献率 72.599%, 主成分 2 特征值 1.937, 方差贡献率 19.369%, 2 个主成分累积方差贡献率为 91.968%, 充分体现 13 个指标的基本特征值和主要信息^[13]。因子载荷矩阵在一定程度上能反映各主成分与原始变量之间的相关性, 结果见表 4。车叶草苷酸、去乙酰车叶草酸、鸡屎藤苷酸、丁香树脂酚、豆甾醇、 β -谷甾醇、熊果酸在第 1 主成分上的荷载值的绝对值较大, 是第 1 主成分的主要贡献指标; 牡荆素、松脂素和齐墩果酸在第 2 主成分上的荷载值的绝对值较大, 对第 2 主成分贡献更为显著。基于 PCA 结果, 可将 20 批白马骨样品划分为 3 类。PCA 结果与 HCA 一致, 结果见图 3。

表 4 因子载荷矩阵

Table 4 Factor loading matrix

成分	主成分 1	主成分 2
车叶草苷酸	0.979	-0.051
去乙酰车叶草酸	0.973	-0.126
鸡屎藤苷酸	0.956	-0.078
牡荆素	0.196	0.933
松脂素	-0.606	0.692
丁香树脂酚	0.968	0.041
豆甾醇	0.938	-0.157
β -谷甾醇	0.965	0.031
齐墩果酸	0.606	0.720
熊果酸	-0.957	-0.130

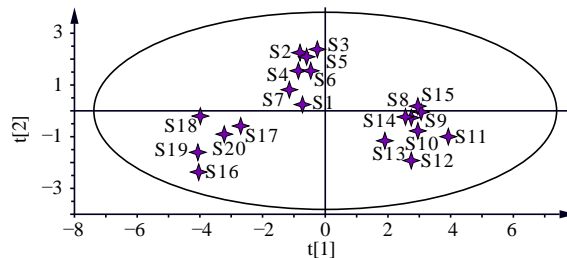


图 3 20 批白马骨 PCA 得分图

Fig. 3 PCA scores plots for 20 batches of *S. serissoides*

2.2.3 PLS-DA 为探究导致 20 批白马骨样品质量差异的关键成分, 在前期 HCA 和 PCA 结果的基础上, 进一步采用有监督的 PLS-DA 模式识别, 累积解释能力参数 $R_x^2=0.942$, $R_y^2=0.899$, 预测能力参数 $Q^2=0.872$, 均大于 0.5, 表明构建的模型为优质模型^[14], PLS-DA 模型得分图 (图 4) 提示 20 批白马骨样品分类更显著。对 PLS-DA 模型进行 200 次置换检验, 得置换检验图 (图 5), R^2 拟合直线 Y 轴截距为正值, 表明所构建的 PLS-DA 模型结果可靠; Q^2 拟合直线 Y 轴截距为负值, 表明 PLS-DA 模型未过度拟合^[15]。变量投影重要性 (VIP) 值的大小反映了该指标对产品质量影响的大小, VIP 值越大, 对产品质量差异贡献度越大。以 $VIP>0.9$ 为筛选标准, 结果显示 (图 6), 车叶草苷酸 ($VIP=1.3700$)、

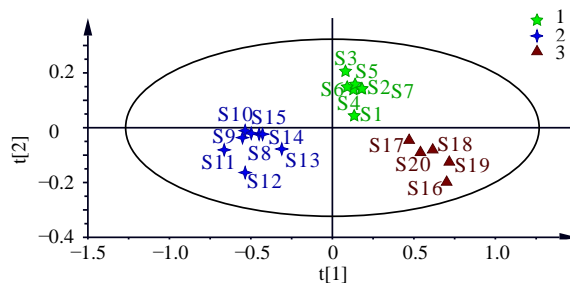


图 4 20 批白马骨样品 PLS-DA 得分图

Fig. 4 Score chart of PLS-DA for 20 batches of *S. serissoides*

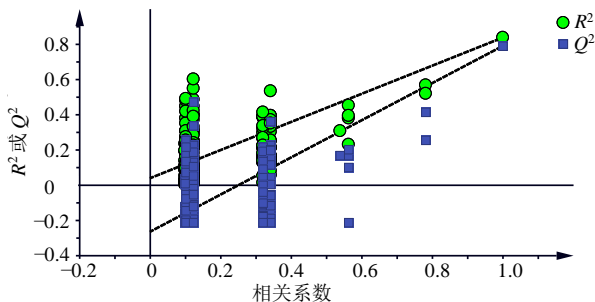
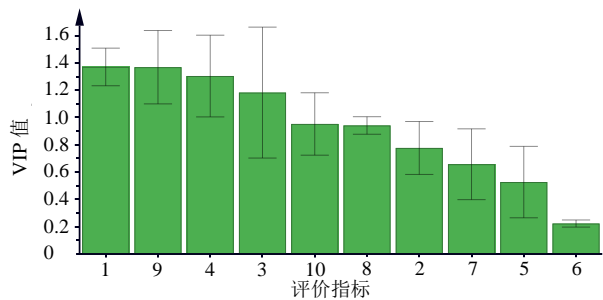


图 5 PLS-DA 置换检测图

Fig. 5 PLS-DA permutation test plot



1-车叶草苷酸; 2-去乙酰车叶草酸; 3-鸡屎藤苷酸; 4-牡荆素; 5-松脂素; 6-丁香树脂酚; 7-豆甾醇; 8-β-谷甾醇; 9-齐墩果酸; 10-熊果酸。

1-asperulosidic acid; 2-deacetylasperulosidic acid; 3-paederosidic acid; 4-vitexin; 5-pinoreosinol; 6-syringaresinol; 7-stigmasterol; 8-β-sitosterol; 9-oleanolic acid; 10-ursolic acid.

图 6 VIP 得分图

Fig. 6 VIP score charts

表 5 20 批白马骨样品中醇溶性浸出物、总灰分和酸不溶性灰分结果

Table 5 Results of ethanol-soluble extract, total ash and acid-insoluble ash in 20 batches of *S. serissoides*

批次	醇溶性浸出物/%	总灰分/%	酸不溶性灰分/%	批次	醇溶性浸出物/%	总灰分/%	酸不溶性灰分/%
S1	19.6	5.4	1.1	S11	32.4	2.7	0.8
S2	22.1	6.4	1.3	S12	28.4	1.9	1.1
S3	30.0	6.9	1.4	S13	19.2	3.4	1.0
S4	26.4	5.7	0.9	S14	16.4	2.5	0.6
S5	25.0	7.2	0.8	S15	23.7	3.0	0.7
S6	27.6	6.1	1.2	S16	17.8	5.8	1.7
S7	28.7	6.3	1.3	S17	16.0	6.3	1.5
S8	20.0	2.2	0.9	S18	20.8	5.1	1.4
S9	31.8	2.4	0.5	S19	19.5	6.2	1.3
S10	27.1	3.1	1.2	S20	16.9	5.3	1.6

2.4 TOPSIS 法质量评价体系的建立

2.4.1 无量纲处理 对 20 批白马骨中车叶草苷酸、去乙酰车叶草酸、鸡屎藤苷酸、牡荆素、松脂素、丁香树脂酚、豆甾醇、β-谷甾醇、齐墩果酸、熊果酸、醇溶性浸出物、总灰分和酸不溶性灰分含量数据进行数据标准化。含量越高质量越优，属于越大越优型正向指标，按照公式 (1) 计算；总灰分和酸不溶性灰分属于越小越优型逆向指标，按照公式 (2) 计算，结果见表 6。

$$X_{ij} = (x_{ij} - m_j) / (M_j - m_j) \quad (1)$$

$$X_{ij} = (M_j - x_{ij}) / (M_j - m_j) \quad (2)$$

X_{ij} 为第 i 批次样品中 j 指标试验值， m_j 为该组试验值中的最小值， M_j 为该组试验值中的最大值

2.4.2 20 批白马骨质量排序 以熵权法^[17]计算得 13 个指标相对权重分别为 0.080 7、0.098 3、0.085 2、

齐墩果酸 (VIP=1.386 2)、牡荆素 (VIP=1.303 4)、鸡屎藤苷酸 (VIP=1.182 2)、熊果酸 (VIP=0.952 3) 和 β-谷甾醇 (VIP=0.941 3)，这 6 个成分可能是引起不同产地白马骨样品之间质量差异的主要变量。

2.3 醇溶性浸出物、总灰分和酸不溶性灰分测定

分别取 20 批白马骨样品，以乙醇为溶剂，参照《安徽省中药材标准》2022 年版及《中国药典》2025 年版四部^[16]，计算供试品醇溶性浸出物、总灰分和酸不溶性灰分，结果见表 5。20 批白马骨中醇溶性浸出物、总灰分和酸不溶性灰分存在不同程度的差异，其中 S11 样品中醇溶性浸出物为 S17 的 2.0 倍，S5 样品中总灰分为 S12 的 3.8 倍，S16 样品中酸不溶性灰分为 S9 的 3.4 倍，可能与样品生长环境有关。

0.054 5、0.068 9、0.098 1、0.087 1、0.077 4、0.043 5、0.087 8、0.068 7、0.089 9、0.060 0，与标准化的数据相乘得加权决策矩阵，结果见表 7。再按照公式 (3)、(4)、(5) 计算各评价指标与正理解解的距离 (D_i^+)、与负理解解的距离 (D_i^-)、各评价指标与最优解的贴近度 (C_i)。 C_i 越接近 1，样品的综合评价越好。结果 20 批白马骨的 C_i 排名前 5 位的依次为编号 S9、S11、S15、S12、S8 的样品。见表 8。

$$D_i^+ = [\sum_{j=1}^n (Z_{ij} - Z_j^+)^2]^{1/2} \quad (3)$$

$$D_i^- = [\sum_{j=1}^n (Z_{ij} - Z_j^-)^2]^{1/2} \quad (4)$$

$$C_i = D_i^- / (D_i^+ + D_i^-) \quad (5)$$

Z_{ij} 为第 i 批样品第 j 个成分加权后数据， Z_j^+ 为 20 批样品第 j 个成分加权后数据的最大值， Z_j^- 为 20 批样品中第 j 个成分

表 6 各指标无量纲化处理结果

Table 6 Results of dimensionless processing of each index

编号	车叶草 苷酸	去乙酰车 叶草酸	鸡屎藤 苷酸	牡荆素	松脂素	丁香树 脂酚	豆甾醇	β -谷甾醇	齐墩果酸	熊果酸	醇溶性浸 出物	总灰分	酸不溶性 灰分
S1	0.409 1	0.375 2	0.364 7	0.516 7	0.548 8	0.203 1	0.540 0	0.296 4	0.641 5	0.313 8	0.219 5	0.339 6	0.500 0
S2	0.261 5	0.214 4	0.553 4	0.858 7	0.914 6	0.390 6	0.476 0	0.347 7	0.880 5	0.414 1	0.372 0	0.150 9	0.333 3
S3	0.482 6	0.419 6	0.451 9	1.000 0	0.670 7	0.546 9	0.138 5	0.380 6	0.949 7	0.332 9	0.853 7	0.056 6	0.250 0
S4	0.449 1	0.295 7	0.307 8	0.702 6	0.743 9	0.328 1	0.289 5	0.561 8	0.855 3	0.501 2	0.634 1	0.283 0	0.666 7
S5	0.384 2	0.336 4	0.404 9	0.799 3	0.817 1	0.453 1	0.415 6	0.449 2	1.000 0	0.547 7	0.548 8	0.000 0	0.750 0
S6	0.581 8	0.421 4	0.255 5	0.758 4	0.634 1	0.515 6	0.262 9	0.509 6	0.915 1	0.599 0	0.707 3	0.207 5	0.416 7
S7	0.439 5	0.203 3	0.140 3	0.568 8	0.548 8	0.234 4	0.190 1	0.591 9	0.773 6	0.414 1	0.774 4	0.169 8	0.333 3
S8	0.787 6	0.841 0	0.862 8	0.423 8	0.317 1	0.921 9	0.683 8	0.890 2	0.789 3	0.111 0	0.243 9	0.943 4	0.666 7
S9	0.886 9	0.940 9	1.000 0	0.658 0	0.243 9	0.781 3	0.747 8	0.943 3	0.707 5	0.175 4	0.963 4	0.905 7	1.000 0
S10	0.932 6	0.796 7	0.763 5	0.249 1	0.182 9	0.859 4	0.809 9	0.838 1	0.908 8	0.074 0	0.676 8	0.773 6	0.416 7
S11	0.979 5	1.000 0	0.952 2	0.472 1	0.109 8	1.000 0	1.000 0	1.000 0	0.594 3	0.000 0	1.000 0	0.849 1	0.750 0
S12	1.000 0	0.890 9	0.900 7	0.215 6	0.048 8	0.718 8	0.873 9	0.785 9	0.522 0	0.233 9	0.756 1	1.000 0	0.500 0
S13	0.757 2	0.737 5	0.810 5	0.334 6	0.000 0	0.640 6	0.614 6	0.646 8	0.739 0	0.276 8	0.195 1	0.717 0	0.583 3
S14	0.761 5	0.865 1	0.833 2	0.405 2	0.365 9	0.828 1	0.669 6	0.900 3	0.773 6	0.101 4	0.024 4	0.886 8	0.916 7
S15	0.859 4	0.966 7	0.968 9	0.635 7	0.292 7	0.687 5	0.733 6	0.952 4	0.820 8	0.165 9	0.469 5	0.792 5	0.833 3
S16	0.000 0	0.000 0	0.054 6	0.000 0	0.378 0	0.031 3	0.085 3	0.054 0	0.000 0	0.939 1	0.109 8	0.264 2	0.000 0
S17	0.154 5	0.042 5	0.305 5	0.468 4	0.365 9	0.078 1	0.167 0	0.128 1	0.361 6	0.722 0	0.000 0	0.169 8	0.166 7
S18	0.078 3	0.107 2	0.100 1	0.290 0	1.000 0	0.031 3	0.053 3	0.112 5	0.195 0	0.893 8	0.292 7	0.396 2	0.250 0
S19	0.030 5	0.057 3	0.000 0	0.063 2	0.426 8	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.286 2	1.000 0	0.213 4	0.188 7	0.333 3
S20	0.148 4	0.142 3	0.139 5	0.371 7	0.512 2	0.062 5	0.147 4	0.137 2	0.176 1	0.841 3	0.054 9	0.358 5	0.083 3

加权后数据的最小值

3 讨论

白马骨主要含环烯醚萜类、黄酮类、木脂素类、甾体类、三萜类等多种化学成分。温授惠等^[18]证实,环烯醚萜类化合物可调控脂代谢、改善肝细胞脂质沉积,白马骨中该类代表性成分为车叶草苷酸、去乙酰车叶草酸、鸡屎藤苷酸等。张丽慧等^[19]、杨福红等^[20]研究表明,黄酮类化合物具有抑菌、抗肿瘤等多重药理活性,牡荆素为白马骨中核心黄酮类活性成分。王鹤霏^[21]发现木脂素类具有抗类风湿关节炎作用,白马骨中主要含松脂素、丁香树脂酚等木脂素类成分。陈硕等^[22]研究证实甾体类成分兼具抗炎、解毒、抗过敏等功效,以豆甾醇、 β -谷甾醇为主要代表。何诗能等^[23]发现三萜类化合物具有抗肿瘤、抗病毒、抗菌抗炎、保肝及神经保护等作用,代表性成分为齐墩果酸与熊果酸。药材质量与其活性成分含量密切相关,因此本研究选取车叶草苷酸、去乙酰车叶草酸、鸡屎藤苷酸、牡荆素、松脂素、丁香树脂酚、豆甾醇、 β -谷甾醇、齐墩果酸、熊果酸 10 种活性成分为评价指标,对不同产地白

马骨样品进行质量综合评价。

本研究在色谱条件优化阶段,首先对流动相体系进行筛选,对比考察乙腈-水、乙腈-磷酸溶液、乙腈-甲酸溶液、乙腈-冰醋酸溶液等体系,综合分离效果与峰形,最终确定乙腈-0.2%磷酸(含 0.03%三乙胺)溶液为最佳流动相。在多组分检测波长选择中,将各对照品溶液于 200~400 nm 进行紫外全波长扫描:车叶草苷酸在 237.5、267.2、353.4 nm 有强吸收;去乙酰车叶草酸在 238.2、265.3、354.8 nm 有强吸收;鸡屎藤苷酸在 203.8、237.9、272.3 nm 有强吸收;牡荆素在 213.5、267.6、335.3 nm 有强吸收;松脂素在 225.3、271.6 nm 有强吸收;丁香树脂酚在 236.5、273.2 nm 有强吸收;豆甾醇、 β -谷甾醇、齐墩果酸、熊果酸均为末端吸收,于 210 nm 处吸收最强。结合相关文献报道^[24-27],最终确定:车叶草苷酸、去乙酰车叶草酸、鸡屎藤苷酸检测波长 238 nm;牡荆素、松脂素、丁香树脂酚检测波长 270 nm;豆甾醇、 β -谷甾醇、齐墩果酸、熊果酸检测波长 210 nm。经系统适用性考察,10 种目标成分分离度良好,色谱条件稳定可靠。采用 HPLC 法测定 20 批白马骨

表 7 加权矩阵

Table 7 Weighting matrix

编号	车叶草苷 酸	去乙酰车 叶草酸	鸡屎藤 苷酸	牡荆素	松脂素	丁香树 脂酚	豆甾醇	β -谷甾醇	齐墩果酸	熊果酸	醇溶性浸 出物	总灰分	酸不溶性 灰分
S1	0.033 0	0.036 9	0.031 1	0.028 2	0.037 8	0.019 9	0.047 0	0.022 9	0.027 9	0.027 6	0.015 1	0.030 5	0.030 0
S2	0.021 1	0.021 1	0.047 1	0.046 8	0.063 0	0.038 3	0.041 5	0.026 9	0.038 3	0.036 4	0.025 6	0.013 6	0.020 0
S3	0.038 9	0.041 2	0.038 5	0.054 5	0.046 2	0.053 7	0.012 1	0.029 5	0.041 3	0.029 2	0.058 6	0.005 1	0.015 0
S4	0.036 2	0.029 1	0.026 2	0.038 3	0.051 3	0.032 2	0.025 2	0.043 5	0.037 2	0.044 0	0.043 6	0.025 4	0.040 0
S5	0.031 0	0.033 1	0.034 5	0.043 6	0.056 3	0.044 4	0.036 2	0.034 8	0.043 5	0.048 1	0.037 7	0.000 0	0.045 0
S6	0.047 0	0.041 4	0.021 8	0.041 3	0.043 7	0.050 6	0.022 9	0.039 4	0.039 8	0.052 6	0.048 6	0.018 7	0.025 0
S7	0.035 5	0.020 0	0.012 0	0.031 0	0.037 8	0.023 0	0.016 6	0.045 8	0.033 7	0.036 4	0.053 2	0.015 3	0.020 0
S8	0.063 6	0.082 7	0.073 5	0.023 1	0.021 8	0.090 4	0.059 6	0.068 9	0.034 3	0.009 7	0.016 8	0.084 8	0.040 0
S9	0.071 6	0.092 5	0.085 2	0.035 9	0.016 8	0.076 6	0.065 1	0.073 0	0.030 8	0.015 4	0.066 2	0.081 4	0.060 0
S10	0.075 3	0.078 3	0.065 1	0.013 6	0.012 6	0.084 3	0.070 5	0.064 9	0.039 5	0.006 5	0.046 5	0.069 5	0.025 0
S11	0.079 0	0.098 3	0.081 1	0.025 7	0.007 6	0.098 1	0.087 1	0.077 4	0.025 9	0.000 0	0.068 7	0.076 3	0.045 0
S12	0.080 7	0.087 6	0.076 7	0.011 8	0.003 4	0.070 5	0.076 1	0.060 8	0.022 7	0.020 5	0.051 9	0.089 9	0.030 0
S13	0.061 1	0.072 5	0.069 1	0.018 2	0.000 0	0.062 8	0.053 5	0.050 1	0.032 1	0.024 3	0.013 4	0.064 5	0.035 0
S14	0.061 5	0.085 0	0.071 0	0.022 1	0.025 2	0.081 2	0.058 3	0.069 7	0.033 7	0.008 9	0.001 7	0.079 7	0.055 0
S15	0.069 4	0.095 0	0.082 6	0.034 6	0.020 2	0.067 4	0.063 9	0.073 7	0.035 7	0.014 6	0.032 3	0.071 2	0.050 0
S16	0.000 0	0.000 0	0.004 7	0.000 0	0.026 0	0.003 1	0.007 4	0.004 2	0.000 0	0.082 5	0.007 5	0.023 8	0.000 0
S17	0.012 5	0.004 2	0.026 0	0.025 5	0.025 2	0.007 7	0.014 5	0.009 9	0.015 7	0.063 4	0.000 0	0.015 3	0.010 0
S18	0.006 3	0.010 5	0.008 5	0.015 8	0.068 9	0.003 1	0.004 6	0.008 7	0.008 5	0.078 5	0.020 1	0.035 6	0.015 0
S19	0.002 5	0.005 6	0.000 0	0.003 4	0.029 4	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.012 4	0.087 8	0.014 7	0.017 0	0.020 0
S20	0.012 0	0.014 0	0.011 9	0.020 3	0.035 3	0.006 1	0.012 8	0.010 6	0.007 7	0.073 9	0.003 8	0.032 2	0.005 0

表 8 20 批白马骨的 TOPSIS 分析结果

Table 8 TOPSIS analysis result of 20 batches of *S. serissoides*

编号	D_i^+	D_i^-	C_i	排序	编号	D_i^+	D_i^-	C_i	排序
S1	0.180 3	0.111 2	0.381 5	14	S11	0.114 2	0.244 2	0.681 4	2
S2	0.176 7	0.131 2	0.426 1	13	S12	0.116 6	0.217 5	0.651 0	4
S3	0.174 2	0.141 2	0.447 7	12	S13	0.137 8	0.174 9	0.559 3	8
S4	0.165 2	0.134 1	0.448 0	11	S14	0.125 8	0.206 4	0.621 3	7
S5	0.166 4	0.143 0	0.462 2	10	S15	0.107 7	0.215 5	0.666 8	3
S6	0.158 0	0.142 6	0.474 4	9	S16	0.248 7	0.090 6	0.267 0	20
S7	0.191 8	0.114 1	0.373 0	15	S17	0.227 8	0.084 3	0.270 1	19
S8	0.118 6	0.210 0	0.639 1	5	S18	0.223 2	0.116 0	0.342 0	16
S9	0.098 1	0.231 8	0.702 6	1	S19	0.245 2	0.098 4	0.286 4	18
S10	0.122 7	0.204 7	0.625 2	6	S20	0.223 6	0.095 1	0.298 4	17

样品中 10 种目标成分含量,结果显示所有指标中车叶草苷酸整体含量最高,且以 S12 样品中含量为峰值;S11 样品中去乙酰车叶草酸、丁香树脂酚、豆甾醇、 β -谷甾醇含量均最高,但熊果酸含量最低。本研究同一产地仅采集单批样品,样本代表性有限;后续可增加同产地样本量、拓宽采收时段,系统探究土壤、气候、采收时间等生态因子对白马骨有效成分及品质的影响,为白马骨优质道地产区筛

选提供理论依据。

基于多指标定量结果,结合化学模式识别技术对 20 批白马骨进行整体质量评价。HCA 与 PCA 结果趋势一致,20 批样品可划分为 3 大类: S1~S7、S8~S15、S16~S20,组间差异显著、组内相似度高。提取 2 个主成分即可涵盖 10 项检测指标的核心信息;其中车叶草苷酸、去乙酰车叶草酸、鸡屎藤苷酸、丁香树脂酚、豆甾醇、 β -谷甾醇、熊果酸

对第 1 主成分贡献突出, 牡荆素、松脂素、齐墩果酸对第 2 主成分贡献较大。通过变量重要性投影筛选出 6 个关键差异标志物, 分别为车叶草苷酸、齐墩果酸、牡荆素、鸡屎藤苷酸、熊果酸和 β -谷甾醇, 建议将上述 6 种成分纳入白马骨质量标准, 作为核心质控指标。TOPSIS 法以理想解贴近度 C_i 值作为品质评判依据, C_i 值越大代表样品综合质量越优。以熵权法计算各指标权重值构建 TOPSIS 质量评价模型, 结果显示 20 批样品综合品质排名前 5 依次为 S9、S11、S15、S12、S8, C_i 值分别为 0.702 6、0.681 4、0.666 8、0.651 0、0.639 1; S16~S20 批次 C_i 值整体偏低 (0.267 0~0.342 0), 综合质量较差。

综上, 本研究建立的白马骨多成分同步 HPLC 定量检测方法操作简便、稳定性与科学性良好, 适用于白马骨日常质量控制; 依托化学模式识别构建的综合评价模型客观可靠, 可为完善白马骨质量体系、制定质控标准提供参考依据与技术支撑。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

- [1] 江西省中药饮片炮制规范 [S]. 2023, 386. Processing Specification of Jiangxi Decoction Pieces [S]. 2023:386.
- [2] 安徽省中药材标准 [S]. 2022, 87-88. Standard of Chinese Medicinal Materials in Anhui Province [S]. 2022:87-88.
- [3] 贵州省中药民族药药材标准 [S]. 2019, 134. Standard of Guizhou Ethnic Medicine and Chinese Medicinal Materials [S]. 2019:134.
- [4] Zhao H M, Zhou M, Huang M Y, et al. Glucomannans of *Serissa serissoides* stem [J]. Chem Nat Compd, 2011, 47(2): 176-178.
- [5] 詹传红, 曲玮, 梁敬钰. 白马骨属植物化学成分和生物活性的研究进展 [J]. 海峡药学, 2014, 26(2): 1-5. Zhan C H, Qu W, Liang J Y. Progress on chemical constituents and biological activities of the plants of genus *Serissa* [J]. Strait Pharm J, 2014, 26(2): 1-5.
- [6] 张强, 孙隆儒. 白马骨属植物的药学研究进展 [J]. 食品与药品, 2006, 8(1): 22-25. Zhang Q, Sun L R. Progress in medical study of the plants of *Serissa* [J]. Food Drug, 2006, 8(1): 22-25.
- [7] 久欣, 张慧文, 刘宏, 等. 化学计量学方法在中药质量标志物中的应用 [J]. 中成药, 2021, 43(12): 3416-3421. Jiu X, Zhang H W, Liu H, et al. Application of chemometrics in quality markers of traditional Chinese medicine [J]. Chin Tradit Pat Med, 2021, 43(12): 3416-3421.
- [8] 李佳佳, 张杏芬, 徐增瑞, 等. 不同产地珍珠透骨草多指标定量及化学计量学联合 CRITIC-TOPSIS 法的质量差异评价 [J]. 中草药, 2026, 57(2): 665-674. Li J J, Zhang X F, Xu Z R, et al. Quality difference evaluation of *Speranskia tuberculata* from different producing area by multi-index quantification and chemometrics combined with CRITIC-TOPSIS method [J]. Chin Tradit Herb Drugs, 2026, 57(2): 665-674.
- [9] 朱田田, 张菁, 晋玲, 等. 基于智能感官技术与化学计量学比较不同采收季节肉苁蓉的品质 [J]. 中草药, 2025, 56(19): 7168-7177. Zhu T T, Zhang J, Jin L, et al. Comparison of quality of *Cistanche deserticola* harvested in different seasons based on intelligent sensory technology and chemometrics [J]. Chin Tradit Herb Drugs, 2025, 56(19): 7168-7177.
- [10] 徐齐利. TOPSIS 综合评价系统设计与实现 [J]. 信息与管理研究, 2020, 5(2): 70-81. Xu Q L. Design and implementation of comprehensive evaluation system based on TOPSIS [J]. J Inf Manag, 2020, 5(2): 70-81.
- [11] 赵一懿, 高莹莹, 郭婉莹, 等. 基于多指标成分定量结合化学计量学的清喉咽颗粒质量评价 [J]. 中草药, 2025, 56(15): 5441-5451. Zhao Y Y, Gao Y Y, Wu W Y, et al. Quality evaluation of Qinghouyan Granules based on multi-index component quantitative analysis combined with chemometrics [J]. Chin Tradit Herb Drugs, 2025, 56(15): 5441-5451.
- [12] 赵山, 全新朵, 王晓波, 等. 多指标定量、化学模式识别结合加权 TOPSIS 与灰色关联度融合模型的木芙蓉叶质量评价 [J]. 中国中医药信息杂志, 2025, 32(3): 129-135. Zhao S, Tong X D, Wang X B, et al. Quality evaluation of *hibisci mutabilis* folium with multi-index component quantitative combined with chemical pattern recognition, weighted TOPSIS and grey correlation degree fusion model [J]. Chin J Inf Tradit Chin Med, 2025, 32(3): 129-135.
- [13] 刘裕, 屈彬清, 林优美, 等. 康妇消炎栓多指标成分定量控制及综合质量评价 [J]. 南开大学学报(自然科学版), 2025, 58(2): 31-37. Liu Y, Qu B Q, Lin Y M, et al. Quantitative control of multi-index components and comprehensive quality evaluation of Kangfu Xiaoyan suppository [J]. Acta Sci Nat Univ Nankaiensis Nat Sci Ed, 2025, 58(2): 31-37.
- [14] 高雨秋, 郑帅, 于雪, 等. 化学计量学结合加权 TOPSIS 模型评价不同产地野鸦椿质量 [J]. 中国药房, 2025, 36(14): 1755-1759.

- Gao Y Q, Zheng S, Yu X, et al. Quality evaluation of *Euscaphis japonica* from different habitats using chemometrics combined with weighted TOPSIS model [J]. *China Pharm*, 2025, 36(14): 1755-1759.
- [15] 陈巍, 杨海峰, 陈毓, 等. 基于多指标成分定量联合多元统计分析评价不同产地鹅不食草药材质量 [J]. *天然产物研究与开发*, 2024, 36(9): 1573-1583.
- Chen W, Yang H F, Chen Y, et al. Quality evaluation of *Centipeda Herba* from different origins based on multi-component quantification combined with multivariate statistical analysis [J]. *Nat Prod Res Dev*, 2024, 36(9): 1573-1583.
- [16] 中国药典 [S]. 四部. 2025: 307, 309.
- Pharmacopoeia of the People's Republic of China [S]. Volume IV. 2025:307, 309.
- [17] 罗俊辉, 雷志强, 张华, 等. 多指标定量检测结合多元统计分析和熵权 TOPSIS 模型综合评价不同产地牛尾菜的质量 [J]. *中草药*, 2026, 57(1): 304-313.
- Luo J H, Lei Z Q, Zhang H, et al. Comprehensively evaluation of quality of *Smilax riparia* from different producing areas by multi-index quantitative detection combined with multivariate statistical analysis and entropy weight TOPSIS model [J]. *Chin Tradit Herb Drugs*, 2026, 57(1): 304-313.
- [18] 温授惠, 宋阳, 何杰, 等. 藏茵陈环烯醚萜类化合物改善油酸诱导的肝细胞脂肪变性 [J]. *烟台大学学报(自然科学与工程版)*, 2023, 36(3): 285-293.
- Wen S H, Song Y, He J, et al. Oleic acid-induced hepatocyte steatosis improved by iridoids of Tibetan Yin Chen [J]. *J Yantai Univ Nat Sci Eng Ed*, 2023, 36(3): 285-293.
- [19] 张丽慧, 王丹丹, 孟艳林, 等. 基于网络药理学、分子对接和实验验证探讨藤茶黄酮类化合物抑菌的效果和机制 [J]. *食品科学*, 2025, 46(16): 63-71.
- Zhang L H, Wang D D, Meng Y L, et al. Exploring antibacterial effect and mechanism of flavonoids in *Ampelopsis* based on network pharmacology, molecular docking and experimental verification [J]. *Food Sci*, 2025, 46(16): 63-71.
- [20] 杨福红, 田晶. 黄酮类衍生物及其药理作用 [J]. *华夏医学*, 2023, 36(3): 163-168.
- Yang F H, Tian J. Flavonoid derivatives and their pharmacological activity [J]. *Acta Med Sin*, 2023, 36(3): 163-168.
- [21] 王鹤霏. 络石藤中木脂素抗类风湿关节炎的药效学及作用机制研究 [D]. 桂林: 桂林医学院, 2024.
- Wang H F. Study on pharmacodynamics and action mechanism of lignans from *Trachelospermi Caulis* to alleviate rheumatoid arthritis [D]. Guilin: Guilin Medical University, 2024.
- [22] 陈硕, 王崇川, 朱德强, 等. 植物天然甾体化合物研究进展 [J]. *齐鲁工业大学学报*, 2023, 37(2): 66-73.
- Chen S, Wang C C, Zhu D Q, et al. Research progress of plant natural steroids [J]. *J Qilu Univ Technol*, 2023, 37(2): 66-73.
- [23] 何诗能, 张清, 谭珍媛, 等. 三萜类化合物结构修饰及活性研究进展 [J]. *化学试剂*, 2023, 45(5): 41-50.
- He S N, Zhang Q, Tan Z Y, et al. Research progress on structural modification and biological activity of triterpenes [J]. *Chem Reag*, 2023, 45(5): 41-50.
- [24] 陈庆, 朱璇, 单圣男, 等. 基于 UPLC 指纹图谱和多指标成分含量的六月雪质量评价研究 [J]. *药学前沿*, 2026, 29(3): 423-429.
- Chen Q, Zhu X, Shan S N, et al. Quality evaluation of *Serissa serissoides* based on UPLC fingerprint and multi-index constituents [J]. *Front Pharm Sci*, 2026, 29(3): 423-429.
- [25] 李灿灿, 朱迪, 付辉政, 等. 基于 HPLC 指纹图谱结合化学计量学和多指标含量测定的荆沥质量评价研究 [J]. *中国药学杂志*, 2025, 60(17): 1809-1818.
- Li C C, Zhu D, Fu H Z, et al. Quality evaluation of jingli based on HPLC fingerprint combined with chemometrics and multi-indicator content determination [J]. *Chin Pharm J*, 2025, 60(17): 1809-1818.
- [26] 李振兴, 单雪梅, 毕光明, 等. 灯笼草化学成分的分离和鉴定 II [J]. *沈阳药科大学学报*, 2024, 41(10): 1316-1322.
- Li Z X, Shan X M, Bi G M, et al. Isolation and identification of chemical constituents from *Clinopodium polycephalum* (II) [J]. *J Shenyang Pharm Univ*, 2024, 41(10): 1316-1322.
- [27] 尹君, 胡鹏辉, 舒畅. 高效液相色谱法同时检测油脂类药物辅料中胆甾醇、豆甾醇和 β -谷甾醇的含量 [J]. *中南药学*, 2022, 20(3): 609-612.
- Yin J, Hu P H, Shu C. Simultaneous determination of cholesterol, stigmasterol and β -sitosterol in oil pharmaceutical excipients by HPLC [J]. *Cent South Pharm*, 2022, 20(3): 609-612.

[责任编辑 孙英杰]