

多指标成分定量结合化学计量学评价不同产地三七质量

谢章巧, 王 鹏, 梁书瑞, 刘怡娴, 董理心, 任明波, 徐 怡*

云南白药集团股份有限公司 云南省药物研究所 云南省中药和民族药新药创制企业重点实验室, 云南 昆明 650111

摘 要: 目的 建立不同产地三七中多指标成分定量、化学计量学和加权 TOPSIS 法评价不同产地三七的质量。方法 采用 HPLC 法测定 15 批三七中三七皂苷 R_1 、人参皂苷 R_{g1} 、人参皂苷 R_e 、人参皂苷 R_{b1} 、人参皂苷 R_d , 同时测定水分、浸出物、总灰分、重金属、有害元素; 结合化学计量学、加权 TOPSIS 模型对不同产地三七的质量差异进行评价。结果 不同产地三七中各项指标的差异较大。聚类分析、主成分分析结果表明 15 批三七样品分为 2 类; 提取 3 个主成分, 代表了 11 个指标 75.350% 的信息; 正交偏最小二乘判别分析筛选出 4 个质量差异成分, 依次为铜、浸出物、总灰分、铅; 加权 TOPSIS 排序结果显示, 文山州文山市产三七样品整体质量较优。结论 建立的多指标成分定量结合化学计量学评价方法可为三七的质量控制提供参考。

关键词: 三七; 三七皂苷 R_1 ; 人参皂苷 R_{g1} ; HPLC; 聚类分析; 主成分分析; 正交偏最小二乘判别分析; 加权 TOPSIS 法
中图分类号: R286.02 文献标志码: A 文章编号: 1674-5515(2026)08-2250-08

DOI: 10.7501/j.issn.1674-5515.2026.08.008

Multicomponent quantification combined with chemometrics for quality evaluation of *Notoginseng Radix et Rhizoma* from different origins

XIE Zhangqiao, WANG Peng, LIANG Shurui, LIU Yixian, DONG Lixin, REN Mingbo, XU Yi

Yunnan Baiyao Group Co., Ltd. / Yunnan Institute of Materia Medica / Yunnan Province Company Key Laboratory for TCM and Ethnic Drug of New Drug Creation, Kunming 650111, China

Abstract: Objective To establish a quantitative analysis of multicomponent quantification, chemometrics, and weighted TOPSIS method for evaluating the quality of *Notoginseng Radix et Rhizoma* from different origins. **Methods** The contents of notoginsenoside R_1 , ginsenoside R_{g1} , ginsenoside R_e , ginsenoside R_{b1} , and ginsenoside R_d in 15 batches of *Notoginseng Radix et Rhizoma* were determined using HPLC method, and the contents of moisture, extract, total ash, and heavy metals and harmful elements were also determined. Chemometrics and the weighted TOPSIS model were employed to evaluate the quality of *Notoginseng Radix et Rhizoma* from different origins. **Results** There were significant differences in various indicators of *Notoginseng Radix et Rhizoma* from different origins. The results of cluster analysis and principal component analysis showed that the 15 batches of *Notoginseng Radix et Rhizoma* samples were divided into 2 categories. 3 Principal components were extracted, representing 75.350% of the information for 11 indicators. Orthogonal partial least squares discriminant analysis identified four components with quality differences, namely copper, leachate, total ash, and lead. The weighted TOPSIS ranking results showed that the overall quality of *Notoginseng Radix et Rhizoma* samples produced in Wenshan City, Wenshan Prefecture exhibited superior quality. **Conclusion** The established multicomponent quantification combined with chemometrics evaluation method can provide reference for the quality control of *Notoginseng Radix et Rhizoma*.

Key words: *Notoginseng Radix et Rhizoma*; notoginsenoside R_1 ; ginsenoside R_{g1} ; HPLC; cluster analysis; principal component analysis; orthogonal partial least squares discriminant analysis; weighted TOPSIS method

三七为五加科人参属三七 *Panax notoginseng* (Burk.) F. H. Chen 的干燥根和根茎^[1], 始载于《本草

纲目》, 是享誉中外的传统名贵中药材, 素有“金不换”“南国神草”之美^[2]。现代研究表明, 三七具有

收稿日期: 2026-05-12

基金项目: 云药质量标准(一期)(2025JT006)

作者简介: 谢章巧(1995—), 女, 主管药师, 硕士, 研究方向为药物分析。E-mail: 1227847703@qq.com

*通信作者: 徐 怡(1984—), 女, 副高级工程师, 研究方向为药物分析。E-mail: china007xuyi@163.com

补血、止血、活血化瘀、抗血小板聚集、保护心脑血管、降血压等多方面的药理作用^[3]。三七富含皂苷、多糖、黄酮、氨基酸等活性成分，在促进血液循环、止血、减轻炎症以及治疗心血管疾病等方面具有很高的药用价值^[4-6]。《中国药典》2025 年版仅以人参皂苷 R_{g1}、R_{b1} 和三七皂苷 R₁ 为质量控制指标，并对水分、总灰分、浸出物、重金属、有害元素做出相关规定^[1]。相关研究多基于浸出物、皂苷、总黄酮、总多糖、三七素、支链淀粉、纤维素等指标评价三七品质的影响^[7-9]。本研究利用 HPLC 法对 15 批三七样品中三七皂苷 R₁、人参皂苷 R_{g1}、人参皂苷 R_e、人参皂苷 R_{b1}、人参皂苷 R_d 进行测定，同时参考《中国药典》2025 年版方法检测水分、总灰分、浸出物、重金属、有害元素，综合化学计量学分析不同产地三七的差异，筛选质量差异成分，利用加权 TOPSIS 模型对不同产地三七进行排序，旨在为完善三七的质量控制体系提供参考。

1 仪器与材料

Vanquish Core 高效液相色谱仪[赛默飞世尔科技(中国)有限公司]; XPR105、ME204/T、MA204A 型分析天平(瑞士梅特勒-托利多公司); 7700X 型电感耦合等离子质谱仪(安捷伦科技有限公司, 软件: MassHunter G7210A.01.02); Mars6 型微波消解系统(美国 CEM 公司); TD4 型低速离心机(上海卢湘仪离心机仪器有限公司); DHG-9037A 电热恒温干燥箱(上海精宏实验设备有限公司); SX-2.5-12 箱式电阻炉(天津市泰斯特仪器有限公司); HH-12 型数显恒温水浴锅(常州瑞华仪器制造有限公司)。

三七总皂苷对照品(批号 110870-202105, 中国食品药品检定研究院, 含三七皂苷 R₁ 9.6%、人参皂苷 R_{g1} 35.2%、人参皂苷 R_e 4.7%、人参皂苷 R_{b1} 29.0%、人参皂苷 R_d 3.8%); 铅、镉、砷、汞、铜混合对照品溶液(批号 610014-201701, 中国食品药品检定研究院); 金元素单标准溶液(批号 GSB G62068-90, 国家钢铁材料测试中心); 色谱纯乙腈(Merck 公司); 分析纯甲醇(国药集团化学试剂有限公司); UPS 级硝酸[赛默飞世尔科技(中国)有限公司]; 所用水为自制超纯水。

三七药材采摘于文山州马关县、丘北县、文山市, 经云南省药物研究所天然药物资源研究室符德欢正高级工程师鉴定为三七 *Panax notoginseng* (Burk.) F. H. Chen 的干燥根和根茎, 产地见表 1。样品粉碎后过二号筛、四号筛, 干燥保存, 备用。

表 1 三七药材产地信息

Table 1 Geographic origin information of *Notoginseng Radix et Rhizoma*

编号	批号	产地	编号	批号	产地
1	S1	马关县	9	S9	丘北县
2	S2	马关县	10	S10	丘北县
3	S3	马关县	11	S11	文山市
4	S4	马关县	12	S12	文山市
5	S5	马关县	13	S13	文山市
6	S6	丘北县	14	S14	文山市
7	S7	丘北县	15	S15	文山市
8	S8	丘北县	16	S16	文山市

2 方法与结果

2.1 三七皂苷的 HPLC 法测定

2.1.1 对照品溶液的制备 精密称取三七总皂苷对照品适量, 加甲醇制成质量浓度为 2.0 mg/mL 的溶液, 即得。

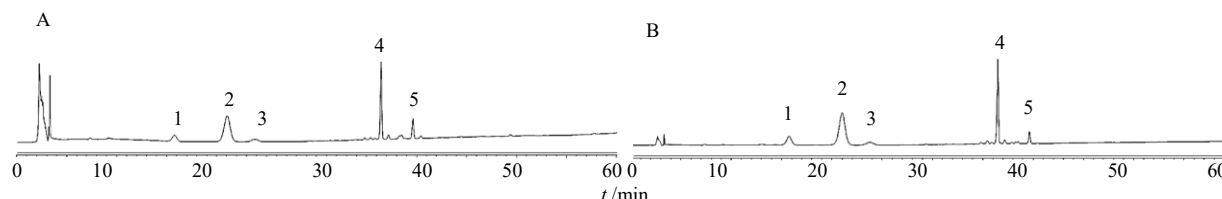
2.1.2 供试品溶液的制备 取三七粉末(过四号筛) 0.6 g, 精密称定, 精密加入甲醇 50 mL, 称定质量, 置 80 ℃ 水浴上保持微沸 2 h, 放冷, 再称定质量, 用甲醇补足减失的质量, 摇匀, 滤过, 取续滤液, 即得。

2.1.3 色谱条件 Waters XTerra RP15 色谱柱(250 mm×4.6 mm, 5 μm); 以乙腈(A)-水(B)为流动相, 梯度洗脱(0~20 min 时 20% A, 20~45 min 时 20%→46% A, 45~55 min 时 46%→55% A, 55~60 min 时 55% A); 检测波长为 203 nm。理论板数按三七皂苷 R₁ 峰计算应不低于 4 000。

2.1.4 专属性考察 分别精密吸取三七总皂苷对照品溶液和三七供试品溶液各 10 μL, 注入液相色谱仪, 测定, 见图 1。

2.1.5 线性关系考察 将对照品储备液加甲醇逐级稀释, 得到不同质量浓度的对照品溶液, 进样测定。以质量浓度为横坐标, 峰面积为纵坐标, 建立回归方程, 见表 2。

2.1.6 精密度试验 取混合对照品溶液(三七皂苷 R₁、人参皂苷 R_{g1}、人参皂苷 R_e、人参皂苷 R_{b1}、人参皂苷 R_d 的质量浓度分别为 0.206 8、0.758 3、0.101 2、0.624 7、0.081 9 mg/mL), 连续进样 6 次, 计算得三七皂苷 R₁、人参皂苷 R_{g1}、人参皂苷 R_e、人参皂苷 R_{b1}、人参皂苷 R_d 峰面积的 RSD 值分别为 0.63%、0.11%、0.26%、0.08%、0.23%。



1-三七皂苷 R₁; 2-人参皂苷 R_{g1}; 3-人参皂苷 R_e; 4-人参皂苷 R_{b1}; 5-人参皂苷 R_d.
1-notoginsenoside R₁, 2-ginsenoside R_{g1}, 3-ginsenoside R_e, 4-ginsenoside R_{b1}, 5-ginsenoside R_d.

图 1 三七总皂苷对照品 (A)、三七样品 (S16, B) 的 HPLC 色谱图图谱

Fig. 1 HPLC chromatograms of *Panax notoginseng* saponins reference stance (A) and *Notoginseng Radix et Rhizoma* (S16, B)

表 2 5 种皂苷的线性关系

Table 2 Linear relationships of five saponins

成分	回归方程	线性范围/(mg·mL ⁻¹)	相关系数 (r)
三七皂苷 R ₁	$Y=48.733 X-0.043 0$	0.016 2~1.034 0	0.999 8
人参皂苷 R _{g1}	$Y=58.802 X+0.274 3$	0.059 2~3.791 4	0.999 9
人参皂苷 R _e	$Y=45.965 X-0.068 6$	0.007 9~0.506 2	0.999 8
人参皂苷 R _{b1}	$Y=42.078 X+0.626 1$	0.048 8~3.123 6	0.999 8
人参皂苷 R _d	$Y=50.206 X+0.035 8$	0.006 4~0.409 3	0.999 9

2.1.7 重复性试验 精密称取三七粉末 (批号 S16) 6 份, 分别制备供试品溶液, 进样分析, 计算得三七皂苷 R₁、人参皂苷 R_{g1}、人参皂苷 R_e、人参皂苷 R_{b1}、人参皂苷 R_d 质量分数的 RSD 值分别为 1.44%、1.21%、0.86%、1.08%、0.80%。

2.1.8 稳定性试验 取同一份三七供试品溶液 (批号 S16), 分别于制备后 0、6、12、18、31、38 h 进样分析, 计算得三七皂苷 R₁、人参皂苷 R_{g1}、人参皂苷 R_e、人参皂苷 R_{b1}、人参皂苷 R_d 峰面积的 RSD 值分别为 1.54%、0.91%、1.49%、1.10%、1.10%。结果证明供试品溶液在 38 h 内稳定性良好。

2.1.9 准确度试验 精密称取三七粉末 (批号 S16, 含三七皂苷 R₁、人参皂苷 R_{g1}、人参皂苷 R_e、人参皂苷 R_{b1}、人参皂苷 R_d 分别为 0.582 2%、2.531 9%、0.372 3%、2.263 5%、0.546 0%) 9 份, 每份 0.3 g, 分别精密加入对照品溶液 (含三七皂苷 R₁、人参皂苷 R_{g1}、人参皂苷 R_e、人参皂苷 R_{b1}、人参皂苷 R_d 分别为 2.021 5、7.412 1、0.989 7、6.106 5、0.800 2 mg/mL) 0.4、0.9、1.4 mL, 每个质量浓度各 3 份, 制备供试品溶液, 进样测定。结果三七皂苷 R₁、人参皂苷 R_{g1}、人参皂苷 R_e、人参皂苷 R_{b1}、人参皂苷 R_d 的平均回收率分别为 98.50%、99.16%、102.14%、96.76%、101.37%, RSD 值分别为 2.43%、

2.30%、3.23%、1.73%、2.33%。

2.1.10 样品测定 取 15 批不同产地三七样品适量, 制备供试品溶液, 进样测定, 记录峰面积, 按外标法分别计算三七皂苷 R₁、人参皂苷 R_{g1}、人参皂苷 R_e、人参皂苷 R_{b1}、人参皂苷 R_d 的质量分数, 结果见表 3。15 批三七样品中, 人参皂苷 R_{g1}、R_{b1} 的平均质量分数分别为 2.775 1%、2.474 7%, 为主要的皂苷成分; 三七皂苷 R₁、人参皂苷 R_d、R_e 的质量分数相对较低, 平均值分别为 0.73%、0.59%、0.40%。5 种皂苷的总量平均值为 5.90%。以 RSD 值评价三七样品批次间的变异, 三七皂苷 R₁、人参皂苷 R_e、R_d 的 RSD 值均大于 23%, 变异程度较高; 人参皂苷 R_{g1}、R_{b1} 的 RSD 值相对较小, 质量分数比较稳定。参照《中国药典》2025 年版一部三七项下规定 (人参皂苷 R_{g1}、R_{b1} 和三七皂苷 R₁ 总量不得低于 6.0%), 15 批三七样品中除个别批次外均符合规定。

2.2 水分、总灰分、浸出物指标测定

取三七样品各适量, 分别按《中国药典》2025 年版四部通则项下 0832 水分测定法、2302 灰分测定法、2201 浸出物测定法进行检测。结果见表 3。水分、总灰分、醇溶性浸出物质量分数分别为 9.27%~12.77%、2.8%~5.5%、30.93%~40.79%。

表 3 三七中各项指标测定结果

Table 3 Results of various indicators in *Notoginseng Radix et Rhizoma*

批号	水分/%	总灰分/%	浸出物/%	重金属及有害元素/(mg·kg ⁻¹)					三七皂	人参皂	人参皂	人参皂	人参皂
				铅	镉	砷	汞	铜	苷 R ₁ /%	苷 R _{g1} /%	苷 R _e /%	苷 R _{b1} /%	苷 R _d /%
S1	12.77	5.1	35.61	0.139 0	—	—	—	18.451 1	0.884 3	2.679 4	0.505 0	2.543 2	0.566 7
S2	10.52	5.5	36.33	0.336 5	—	0.074 0	—	21.012 1	0.906 3	2.482 5	0.469 0	2.775 4	0.696 3
S3	9.27	3.7	40.43	0.243 2	—	0.057 9	—	17.752 4	0.535 0	2.755 5	0.505 9	2.844 2	0.701 2
S4	11.54	4.1	39.07	0.174 3	—	—	—	17.696 4	0.542 2	2.810 0	0.342 3	2.179 1	0.438 0
S5	11.79	4.4	40.79	0.153 4	—	—	—	14.046 4	0.790 7	2.655 6	0.316 5	2.769 9	0.712 9
S6	11.95	3.7	32.13	0.082 4	—	0.054 3	—	4.582 6	1.127 4	2.218 2	0.274 5	2.314 7	0.508 3
S7	11.46	4.0	34.91	0.137 1	—	0.085 9	—	4.184 4	0.647 9	2.373 9	0.277 3	2.110 9	0.414 6
S8	11.77	4.1	32.12	0.080 9	—	0.054 3	—	3.840 4	0.639 9	2.461 4	0.347 0	2.081 1	0.433 5
S9	11.69	3.2	32.56	0.000 0	—	—	—	3.410 7	0.747 7	2.658 3	0.375 0	2.430 7	0.588 4
S10	12.00	3.8	31.61	0.113 5	—	0.106 2	—	4.515 7	0.892 5	2.215 0	0.323 7	1.791 5	0.364 4
S11	11.71	2.8	32.69	0.182 9	—	—	—	6.096 9	0.641 5	3.106 0	0.565 5	2.565 4	0.655 9
S12	11.73	4.1	34.58	0.212 8	—	—	—	6.044 4	0.593 9	3.242 9	0.454 8	2.499 7	0.731 9
S13	11.64	4.0	30.93	0.293 4	—	—	—	9.030 9	0.514 2	3.545 2	0.465 4	2.505 9	0.764 4
S14	11.85	3.7	33.02	0.142 6	—	—	—	5.951 4	0.837 1	3.217 6	0.386 5	2.749 0	0.739 3
S15	11.62	3.5	35.19	0.189 1	—	—	—	7.070 3	0.738 7	3.204 7	0.424 9	2.959 1	0.668 6

2.3 重金属、有害元素测定

照《中国药典》2025 年版四部通则“2321 铅、镉、砷、汞、铜测定法”“二、电感耦合等离子体质谱法”。

2.3.1 标准溶液的制备 精密量取铅、镉、砷、汞、铜混合对照品溶液适量，用 5%硝酸溶液稀释制成系列含铅、砷、镉、铜、汞适量的混合溶液，本液应临用配制。

2.3.2 内标溶液的制备 精密量取锆、铟、铋单元素标准溶液适量，用 5%硝酸稀释制成各含 1 μg/mL 的混合溶液，即得。

2.3.3 仪器条件 预设方法 ROHs，等离子体模式设置为 HMI，等离子体射频功率：1 500~1 600 W；等离子体气体流量：15 L/min；辅助气气体流量：1.0 L/min；载气流量：0.8~1.3 L/min；雾化器温度：2 ℃；雾化器：耐盐型；蠕动泵稳定时间：30 s；采集模式：质谱图峰型：3 个点；重复次数：3 次；检测方式：自动。测定时选取的同位素为 ⁶³Cu、⁷⁵As、¹¹⁴Cd、²⁰²Hg、²⁰⁸Pb，其中 ⁶³Cu、⁷⁵As 以 ⁷²Ge 作为内标，¹¹⁴Cd 以 ¹¹⁵In 作为内标，²⁰²Hg、²⁰⁸Pb 以 ²⁰⁹Bi 作为内标。

2.3.4 样品溶液的制备 称取三七粗粉 0.5 g，置聚四氟乙烯消解罐内，加硝酸 8 mL，加入 1 μg/mL 金

单元素标准溶液 200 μL，混匀，100 ℃预消解 1 h，盖好内盖，旋紧外套，置微波消解炉内，进行消解。消解完全后，药液倒入 50 mL 量瓶中，用少量超纯水洗涤消解罐 3 次，洗液并入量瓶中用水稀释至刻度，摇匀，必要时离心，取上清液，即得。同法同时制备样品空白溶液。

2.3.5 样品测定 取三七样品适量，制备样品溶液，进样测定，计算重金属、有害元素含量，结果见表 3。

2.4 聚类分析

对 15 批三七样品中 11 个指标数据进行分类建模，将数据导入 SPSS 25.0 软件，采用组内联接法，以欧氏距离为测度进行聚类分析，结果见图 2。当距离为 18 时，15 批三七样品分为 2 类，批号 S1~S5 样品为一类，来自文山州马关县；批号 S6~S15 样品为一类，来自文山州丘北县、文山市。

2.5 主成分分析（PCA）

利用 SPSS 25.0 软件中降维的方式提取 15 批三七中 11 个指标数据的主成分，Bartlett 球形度检验 *P* 说明 15×11 含量矩阵数据适合主成分分析。当特征值>1 时，3 个主成分的累积方差贡献率为 75.350%，表明前 3 个主成分可代表三七中 11 个指标 75.350%的信息，见表 4。

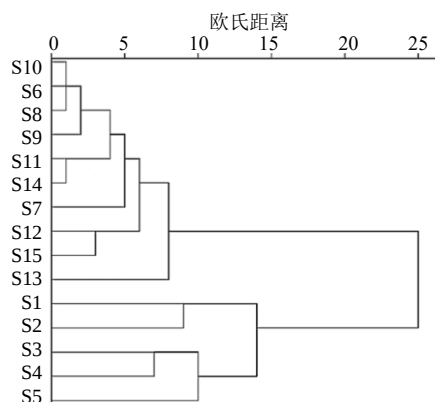


图 2 三七样品聚类分析

Fig. 2 Cluster analysis of *Notoginseng Radix et Rhizoma*

表 4 三七样品 PCA 特征值和方差贡献率

Table 4 Eigenvalues and variance contribution rates of PCA for *Notoginseng Radix et Rhizoma*

主成分	特征值	方差贡献率%	累积方差贡献率%
1	4.357	39.611	39.611
2	2.553	23.231	62.824
3	1.378	12.526	75.350

因子载荷矩阵(表 5)表明,主成分 1 主要反映了铅、铜、人参皂苷 Rb_1 、人参皂苷 Rd 、人参皂苷 Re 、人参皂苷 Rg_1 的信息;主成分 2 主要反映了铜、总灰分、人参皂苷 Rg_1 的信息;主成分 3 主要反映了三七皂苷 R_1 、水分的信息。

表 5 三七样品主成分因子载荷矩阵

Table 5 Principal component factor loading matrix for *Notoginseng Radix et Rhizoma*

成分	主成分 1	主成分 2	主成分 3
水分	-0.467	-0.446	0.641
总灰分	0.188	0.714	0.463
浸出物	0.481	0.579	-0.051
铅	0.757	0.312	-0.132
砷	-0.518	0.615	-0.371
铜	0.605	0.680	0.191
三七皂苷 R_1	-0.435	0.241	0.678
人参皂苷 Rg_1	0.704	-0.642	-0.024
人参皂苷 Re	0.748	-0.171	-0.035
人参皂苷 Rb_1	0.834	-0.054	0.251
人参皂苷 Rd	0.852	-0.259	0.186

将表 4 数据导入 SIMCA 14.1 软件,绘制得分图,见图 3。不同产地三七分为 2 组,在空间分布上与聚类分析结果一致。

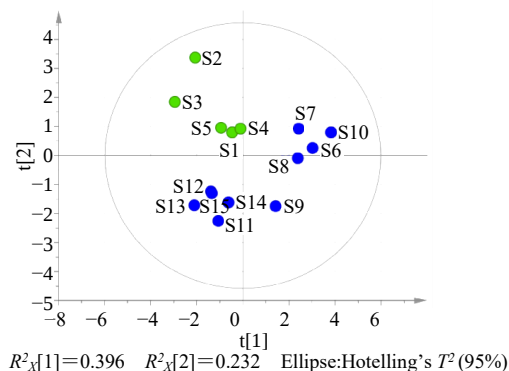


图 3 三七样品 PCA 得分图

Fig. 3 PCA score plot for *Notoginseng Radix et Rhizoma*

2.6 正交偏最小二乘判别分析 (OPLS-DA)

为更好地体现不同产地三七之间的差异,筛选对三七质量具有较大贡献的成分,在 PCA 基础上,利用 SIMCA 14.1 软件进行 OPLS-DA,结果见图 4。模型累积解释能力参数 R^2_X 为 0.596, R^2_Y 为 0.921,预测能力参数 Q^2 为 0.813,表明模型具有较好的解释能力和预测能力。进一步分析 11 个指标的变量重要性投影(VIP)值,结果见图 5。以 $VIP > 1$ 为筛选标准,按照影响大小排序依次为铜、浸出物、总灰分、铅。对模型置换检验 200 次,见图 6,右侧 R^2 和 Q^2 的纵坐标值高于最左边的 R^2 和 Q^2 ,且 Q^2 在回归线的截距为负值,提示建模可靠,不存在过度拟合。

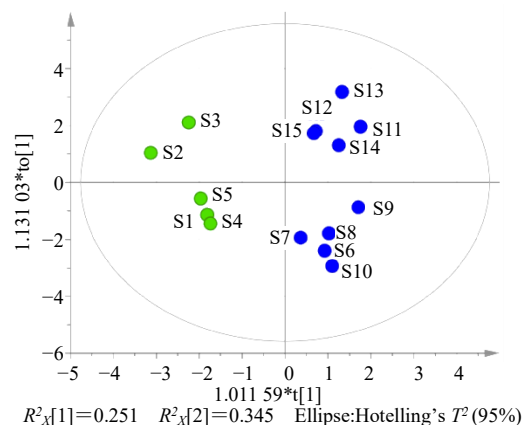
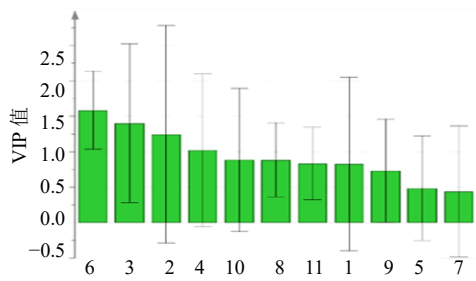


图 4 三七样品 OPLS-DA 得分图

Fig. 4 OPLS-DA score plot for *Notoginseng Radix et Rhizoma*



1-水分; 2-总灰分; 3-浸出物; 4-铅; 5-砷; 6-铜; 7-三七皂苷 R₁; 8-人参皂苷 R_{g1}; 9-人参皂苷 Re; 10-人参皂苷 Rb₁; 11-人参皂苷 Rd。
1-moisture, 2-total ash, 3-extractives, 4-lead, 5-arsenic, 6-copper, 7-notoginsenoside R₁, 8-ginsenoside R_{g1}, 9-ginsenoside Re, 10-ginsenoside Rb₁, 11-ginsenoside Rd.

图 5 三七样品 11 个指标的 VIP 值图

Fig. 5 VIP values of the 11 indicators in *Panax notoginseng*

2.7 加权 TOPSIS 分析

三七中三七皂苷 R₁、人参皂苷 R_{g1}、人参皂苷 Re、人参皂苷 Rb₁、人参皂苷 Rd、浸出物为正向指标,水分、总灰分、酸不溶性灰分、铅、砷、铜为负向指标分别对数据进行标准化处理,建立标准化

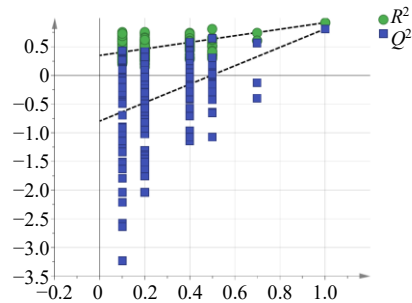


图 6 三七样品 OPLS-DA 置换检验结果

Fig. 6 OPLS-DA permutation test results for *Notoginseng Radix et Rhizoma*

决策矩阵,见表 6。以 11 个指标的 VIP 值为权重,与表 6 数据相乘,建立加权决策矩阵,结果见表 7。
以表 7 中各指标的最大值为最优方案 (Z_j^+),最小值为最劣方案 (Z_j^-),计算与最优方案的距离 (D_i^+)、与最劣方案的距离 (D_i^-)、最优解的欧氏贴近度 (C_i),结果见表 8。 C_i 值越大,被评价样品品质越优,排名前 5 位三七产自文山州文山市, C_i 平均值为 0.599 9,表明文山州文山市产三七样品整体质量较优。

表 6 三七样品中 11 个指标的标准化决策矩阵

Table 6 Normalized decision matrix for 11 indicators in *Notoginseng Radix et Rhizoma*

批号	水分	总灰分	铅	砷	铜	浸出物	三七皂苷 R ₁	人参皂苷 R _{g1}	人参皂苷 Re	人参皂苷 Rb ₁	人参皂苷 Rd
S1	0.000 0	0.148 1	0.586 9	1.000 0	0.145 5	0.474 6	0.603 6	0.349 1	0.792 2	0.643 8	0.505 8
S2	0.642 9	0.000 0	0.000 0	0.303 2	0.000 0	0.547 7	0.639 5	0.201 2	0.668 4	0.842 6	0.829 7
S3	1.000 0	0.666 7	0.277 3	0.454 8	0.185 2	0.963 5	0.033 9	0.406 3	0.795 2	0.901 6	0.842 1
S4	0.351 4	0.518 5	0.482 0	1.000 0	0.188 4	0.825 6	0.045 6	0.447 4	0.233 1	0.332 0	0.184 1
S5	0.280 0	0.407 4	0.544 1	1.000 0	0.395 7	1.000 0	0.450 9	0.331 3	0.144 2	0.838 0	0.871 2
S6	0.234 3	0.666 7	0.755 1	0.488 7	0.933 4	0.121 7	1.000 0	0.002 5	0.000 0	0.448 1	0.359 7
S7	0.374 3	0.555 6	0.592 6	0.191 1	0.956 0	0.403 7	0.218 1	0.119 5	0.009 6	0.273 5	0.125 7
S8	0.285 7	0.518 5	0.759 6	0.488 7	0.975 6	0.120 7	0.205 1	0.185 3	0.249 1	0.248 0	0.172 8
S9	0.308 6	0.851 9	1.000 0	1.000 0	1.000 0	0.165 3	0.380 9	0.333 3	0.345 4	0.547 5	0.560 0
S10	0.220 0	0.629 6	0.662 7	0.000 0	0.937 2	0.069 0	0.617 0	0.000 0	0.169 3	0.000 0	0.000 0
S11	0.302 9	1.000 0	0.456 5	1.000 0	0.847 4	0.178 5	0.207 6	0.669 9	1.000 0	0.662 8	0.728 8
S12	0.297 1	0.518 5	0.367 6	1.000 0	0.850 4	0.370 2	0.130 0	0.772 8	0.619 7	0.606 6	0.918 8
S13	0.322 9	0.555 6	0.128 1	1.000 0	0.680 7	0.000 0	0.000 0	1.000 0	0.656 0	0.611 8	1.000 0
S14	0.262 9	0.666 7	0.576 2	1.000 0	0.855 7	0.212 0	0.526 6	0.753 8	0.385 0	0.820 1	0.937 3
S15	0.328 6	0.740 7	0.438 0	1.000 0	0.792 1	0.432 0	0.366 2	0.744 1	0.517 0	1.000 0	0.760 5

表 7 三七样品中 11 个指标的加权决策矩阵

Table 7 Weighted decision matrix for 11 indicators in *Notoginseng Radix et Rhizoma*

批号	水分	总灰分	铅	砷	铜	浸出物	三七皂苷 R ₁	人参皂苷 R _{g1}	人参皂苷 Re	人参皂苷 Rb ₁	人参皂苷 Rd
S1	0.000 1	0.184 8	0.600 3	0.486 2	0.230 9	0.666 6	0.266 0	0.308 6	0.579 9	0.570 2	0.422 7
S2	0.531 8	0.000 1	0.000 1	0.147 5	0.000 2	0.769 1	0.281 8	0.177 9	0.489 3	0.746 2	0.693 2
S3	0.827 3	0.831 2	0.283 6	0.221 2	0.293 9	1.352 9	0.015 0	0.359 2	0.582 1	0.798 4	0.703 5
S4	0.290 8	0.646 5	0.493 0	0.486 2	0.298 9	1.159 3	0.020 1	0.395 4	0.170 7	0.294 0	0.153 9
S5	0.231 7	0.508 0	0.556 5	0.486 2	0.627 8	1.404 2	0.198 7	0.292 9	0.105 6	0.742 1	0.727 9
S6	0.193 9	0.831 2	0.772 3	0.237 6	1.480 6	0.171 0	0.440 7	0.002 3	0.000 1	0.396 9	0.300 6
S7	0.309 7	0.692 7	0.606 1	0.093 0	1.516 4	0.566 9	0.096 2	0.105 7	0.007 1	0.242 3	0.105 1
S8	0.236 4	0.646 5	0.776 9	0.237 6	1.547 4	0.169 6	0.090 4	0.163 8	0.182 4	0.219 7	0.144 4
S9	0.255 3	1.062 0	1.022 7	0.486 2	1.586 1	0.232 2	0.167 9	0.294 6	0.252 9	0.484 9	0.467 9
S10	0.182 1	0.785 0	0.677 8	0.000 0	1.486 6	0.097 0	0.271 9	0.000 1	0.124 0	0.000 1	0.000 1
S11	0.250 6	1.246 7	0.466 9	0.486 2	1.344 1	0.250 8	0.091 5	0.592 1	0.732 0	0.587 0	0.608 9
S12	0.245 9	0.646 5	0.376 0	0.486 2	1.348 8	0.519 9	0.057 3	0.683 0	0.453 6	0.537 2	0.767 6
S13	0.267 1	0.692 7	0.131 1	0.486 2	1.079 7	0.000 1	0.000 0	0.883 8	0.480 2	0.541 9	0.835 5
S14	0.217 5	0.831 2	0.589 4	0.486 2	1.357 2	0.297 8	0.232 1	0.666 2	0.281 9	0.726 3	0.783 1
S15	0.271 9	0.923 5	0.448 0	0.486 2	1.256 4	0.606 8	0.161 4	0.657 6	0.378 5	0.885 6	0.635 4

表 8 三七样品加权 TOPSIS 排序

Table 8 Weighted TOPSIS ranking of *Notoginseng Radix et Rhizoma*

批号	D_i^+	D_i^-	C_i	排序
S1	2.241 7	1.460 8	0.394 5	14
S2	2.518 5	1.511 1	0.375 0	15
S3	1.722 1	2.240 7	0.565 4	6
S4	2.047 1	1.646 3	0.445 7	12
S5	1.693 6	2.107 0	0.554 4	7
S6	2.016 9	2.010 9	0.499 3	8
S7	1.950 9	1.913 6	0.495 2	10
S8	2.054 6	1.921 9	0.483 3	11
S9	1.637 5	2.382 6	0.592 7	4
S10	2.316 2	1.848 4	0.443 8	13
S11	1.542 1	2.355 8	0.604 4	2
S12	1.531 5	2.120 8	0.580 7	5
S13	2.004 8	1.993 2	0.498 5	9
S14	1.526 6	2.229 2	0.593 5	3
S15	1.334 9	2.258 1	0.628 5	1

3 讨论

本研究采用《中国药典》2025 年版修订后的色谱条件,建立了 HPLC 法同时测定三七中三七皂苷 R₁、人参皂苷 R_{g1}、人参皂苷 Re、人参皂苷 Rb₁、

人参皂苷 Rd 5 种皂苷类成分的测定方法。与药典标准仅规定 3 种皂苷的测定相比,本研究将测定指标拓展至 5 种,信息量更丰富。方法学考察结果表明,5 种皂苷成分在各自线性范围内线性关系良好,精密度、稳定性、重复性、回收率试验的结果均符合测定要求,表明所建方法准确可靠、重复性好,可满足三七中多指标成分同步分析的要求。

现有文献亦多聚焦于浸出物、皂苷、总黄酮、总多糖、三七素、支链淀粉、纤维素等指标评价三七品质,而对总灰分、重金属、有害元素的考察相对较少。本研究在常规检查项和上述有效成分测定的基础上,参照《中国药典》2025 年版四部通则 0212 药材和饮片检定通则的规定,新增了对 15 批三七样品中铅、镉、砷、汞、铜 5 种重金属元素的测定,将安全性指标纳入质量评价体系。这一设计使评价维度由“有效性指标”拓展为“有效性指标+常规检查+安全性指标”,与已有研究相比,评价体系更完整,为三七的质量控制和安全性评价提供了更全面的数据支撑。

为深入分析不同产地三七的质量差异,本研究在测定 11 个指标的基础上,采用聚类分析、主成分分析(PCA)和 OPLS-DA 建立化学计量学评价模型,并结合加权 TOPSIS 法对样品进行综合排序,构建了“多指标含量测定-化学计量学模式识别-

加权 TOPSIS 排序”的评价体系。结果表明, 15 批三七样品分为 2 类, PCA 提取 3 个主成分, 代表了 11 个指标 75.350% 的信息; OPLS-DA 筛选出 4 个 VIP>1 的质量差异成分, 依次为铜、浸出物、总灰分、铅; 加权 TOPSIS 排序结果显示, 文山州文山市产的三七整体质量较优。该评价体系实现了聚类分析宏观归类、PCA 识别关键指标维度、OPLS-DA 筛选具体质量差异成分、TOPSIS 量化综合排序的逐层深入分析, 形成了从“分类-降维-筛选-排序”的完整质量评价链条, 不仅为三七的道地性研究提供了科学依据, 也为其他中药材的多维度质量评价提供了方法学参考。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

- [1] 中国药典 [S]. 一部. 2025.
- [2] 程超寰. 南国神草金不换 [J]. 家庭中医药, 2021, 28(12): 8-11.

- [3] 覃灵红, 梁爽. 三七的药理作用及临床应用研究进展 [J]. 壮瑶药研究, 2023(2): 337-340.
- [4] Liu H B, Lu X Y, Hu Y, *et al.* Chemical constituents of *Panax ginseng* and *Panax notoginseng* explain why they differ in therapeutic efficacy [J]. *Pharmacol Res*, 2020, 161: 105263.
- [5] 陈卓彬. 三七皂苷 R₁ 防治心血管疾病的研究进展 [J]. 现代药物与临床, 2023, 38(4): 1003-1007.
- [6] 冯晓异, 赵微, 何朋伦, 等. 三七总皂苷调节 iNOSNO-NF- κ B 信号通路抑制 LPS 诱导的 RAW246.7 细胞炎症研究 [J]. 药物评价研究, 2020, 43(4): 670-675.
- [7] 杨小玉, 刘格, 唐祥友, 等. 基于熵权法和灰色关联度法综合评价不同产地三七药材质量 [J]. 中华中医药杂志, 2024, 39(6): 2849-2854.
- [8] 闻浩, 胡丹东. 基于高效液相色谱仪多组分定量联合灰色关联度分析的三七综合质量评价 [J]. 实验室检测, 2024, 2(12): 10-13.
- [9] 徐佳, 张照宇, 张泽修, 等. 多维指标和生态因子关联分析揭示不同产区三七药材质量的关键驱动因子 [J]. 药学报, 2025, 60(7): 2352-2366.

[责任编辑 解学星]