

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

罗俊辉¹, 雷志强², 张 华¹, 罗 晶^{1,3,4*}, 杨 明^{1,3,4,5*}

1. 江西中医药大学药学院, 江西 南昌 330004

2. 江西中医药大学临床医学院, 江西 南昌 330004

3. 江西中医药大学 创新药物与高效节能降耗制药设备国家重点实验室, 江西 南昌 330004

4. 江西中医药大学 现代中药制剂教育部重点实验室, 江西 南昌 330004

5. 江西中医药大学 现代中药制药产业学院, 江西 南昌 330004

摘要: 目的 建立牛尾菜 *Smilax riparia* 中香草酸、异香草酸、鼠李素、木犀草素、槲皮素、香叶木素、齐墩果酸、熊果酸、知母皂苷 A2、纤细薯蓣皂苷、薯蓣次皂苷 A、薯蓣皂苷、原纤细薯蓣皂苷、 β -谷甾醇、豆甾醇、总灰分和酸不溶性灰分含量测定方法, 结合多元统计分析及熵权 TOPSIS 模型对牛尾菜质量进行综合评价。方法 采用 Symmetry C₁₈ 色谱柱 (250 mm×4.6 mm, 5 μ m), 乙腈-0.3%磷酸水溶液为流动相, 梯度洗脱, 体积流量 1.0 mL/min; 柱温 30 $^{\circ}$ C; 检测波长 280 nm (检测香草酸和异香草酸)、345 nm (检测鼠李素、木犀草素、槲皮素和香叶木素)、210 nm (检测齐墩果酸、熊果酸、知母皂苷 A2、纤细薯蓣皂苷、薯蓣次皂苷 A、薯蓣皂苷、原纤细薯蓣皂苷、 β -谷甾醇和豆甾醇); 进样量 10 μ L。按照《中国药典》2025 年版方法检测总灰分和酸不溶性灰分含量。基于含量测量值, 采用多元统计分析和熵权-TOPSIS 模型对 18 批样品质量进行综合评价。结果 15 个化学成分分别在各自质量浓度范围内线性关系良好, 平均加样回收率为 96.99%~100.14%, 18 批牛尾菜中香草酸、异香草酸、鼠李素、木犀草素、槲皮素、香叶木素、齐墩果酸、熊果酸、知母皂苷 A2、纤细薯蓣皂苷、薯蓣次皂苷 A、薯蓣皂苷、原纤细薯蓣皂苷、 β -谷甾醇、豆甾醇、总灰分和酸不溶性灰分质量分数分别为 0.338~1.213、0.074~0.200、0.197~0.360、0.423~0.676、0.620~1.814、0.496~1.007、0.192~0.410、0.095~0.187、1.360~2.281、0.379~0.651、0.711~1.221、2.120~3.657、0.965~1.652、0.113~0.275、0.063~0.123 mg/g 及 3.6%~9.5%、1.4%~3.5%; 通过多元统计分析将 18 批牛尾菜分为 3 类, 主成分分析得到 2 个主成分, 累积方差贡献率为 88.149%, 通过变量权重值筛选出薯蓣皂苷、槲皮素、木犀草素、知母皂苷 A2、齐墩果酸、香草酸、原纤细薯蓣皂苷和 β -谷甾醇可作为不同产地牛尾菜的差异标志物; 熵权 TOPSIS 法结果显示 18 批牛尾菜质量差异显著, 综合得分为 0.230 6~0.706 2, 其中编号为 S16 和 S15 的样品质量排序靠前。结论 基于化学计量学和熵权-TOPSIS 的建的质量评价模型方便有效, 可用于牛尾菜质量评价。

关键词: 牛尾菜; 高效液相色谱法; 多元统计分析; 熵权 TOPSIS 法; 质量差异评价; 香草酸; 异香草酸; 鼠李素; 木犀草素; 槲皮素; 香叶木素; 齐墩果酸; 熊果酸; 知母皂苷 A2; 纤细薯蓣皂苷; 薯蓣次皂苷 A; 薯蓣皂苷; 原纤细薯蓣皂苷

中图分类号: R286.2 文献标志码: A 文章编号: 0253-2670(2026)01-0304-10

DOI: 10.7501/j.issn.0253-2670.2026.01.027

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

LUO Junhui¹, LEI Zhiqiang², ZHANG Hua¹, LUO Jing^{1,3,4}, YANG Ming^{1,3,4,5}

1. School of Pharmacy, Jiangxi University of Chinese Medicine, Nanchang 330004, China

2. School of Clinical Medicine, Jiangxi University of Chinese Medicine, Nanchang 330004, China

3. State Key Laboratory of Innovative Drugs and High Efficiency Energy Saving Pharmaceutical Equipment, Jiangxi University of Chinese Medicine, Nanchang 330004, China

4. Key Laboratory of Modern Chinese Medicine Preparations, Ministry of Education, Jiangxi University of Chinese Medicine,

收稿日期: 2025-10-23

基金项目: 国家自然科学基金面上项目 (82074026); 江西省教育厅科学技术研究项目 (GJJ211236)

作者简介: 罗俊辉 (1999—), 男, 硕士研究生, 研究方向为药物新剂型。Tel: 13576118174

*通信作者: 罗 晶 (1983—), 女, 硕士, 副教授, 硕士, 研究方向为中药分析。Tel: (0791)87118658 E-mail: xt0294@163.com

杨 明 (196—), 男, 博士, 教授, 博士生导师, 研究方向为中药新剂型、新技术及新工艺。Tel: (0791)87118129

Nanchang 330004, China

5. School of Modern Chinese Medicine Pharmaceutical Industry, Jiangxi University of Chinese Medicine, Nanchang 330004, China

Abstract: Objective To develop the determination methods for the content of vanillic acid, isovanillic acid, rhamnetin, luteolin, quercetin, diosmetin, oleanolic acid, ursolic acid, anemarrhenasaponin A2, gracillin, prosapogenin A, dioscin, protogracillin, β -sitosterol, stigmasterol, total ash and acid insoluble ash in *Smilax riparia*, and evaluate the quality of *S. riparia* by combining multivariate statistical analysis and entropy weight TOPSIS model. **Methods** HPLC was launched on an Agilent Symmetry C₁₈ chromatographic column (250 mm $\times$ 4.6 mm, 5 μ m) by gradient elution with a mobile phase of acetonitrile-0.3% phosphoric acid at a flow rate of 1.0 mL/min, detection wavelength were 280 nm (for detecting vanillic acid and isovanillic acid), 345nm (for detecting rhamnetin, luteolin, quercetin, diosmetin) and 210 nm (for detecting oleanolic acid, ursolic acid, anemarrhenasaponin A2, gracillin, prosapogenin A, dioscin, protogracillin, β -sitosterol, stigmasterol), column temperature was 30 $^{\circ}$ C, and an injection volume was 10 μ L. The contents of total ash and acid insoluble ash were detected according to the method of *Chinese Pharmacopoeia* 2025 edition. Based on the content measurement value, the quality of 18 batches of *S. riparia* samples was comprehensively evaluated by using the multivariate statistical analysis and entropy weight TOPS model. **Results** A total of 15 chemical components had good linear relationships in their respective mass concentration ranges, and the average recovery rates were 96.99%—100.14%. The contents of vanillic acid, isovanillic acid, rhamnetin, luteolin, quercetin, diosmetin, oleanolic acid, ursolic acid, anemarrhenasaponin A2, gracillin, prosapogenin A, dioscin, protogracillin, β -sitosterol, stigmasterol, total ash and acid insoluble ash in 18 batches of *S. riparia* were 0.338—1.213, 0.074—0.200, 0.197—0.360, 0.423—0.676, 0.620—1.814, 0.496—1.007, 0.192—0.410, 0.095—0.187, 1.360—2.281, 0.379—0.651, 0.711—1.221, 2.120—3.657, 0.965—1.652, 0.113—0.275, 0.063—0.123 mg/g, 3.6%—9.5%, 1.4%—3.5%, respectively. Multivariate statistical analysis classified 18 batches of *S. riparia* into three categories, principal component analysis yielded two principal components, with a cumulative variance contribution rate of 88.149%. A total of eight components such as dioscin, quercetin, luteolin, anemarrhenasaponin A2, oleanolic acid, vanillic acid, protogracillin and β -sitosterol were screened by VIP analysis, which could be used as differential markers of *S. riparia* in different producing areas. The results of entropy weight TOPSIS method showed that the quality of 18 batches of *S. riparia* was significantly different, and the comprehensive score was 0.230 6—0.706 2. The quality of samples numbered S16 and S15 was ranked in the front. **Conclusion** The quality evaluation model based on chemometrics and entropy weight TOPSIS is convenient and effective, and can be used for the quality evaluation of *S. riparia*.

Key words: *Smilax riparia* A. DC.; HPLC; multivariate statistical analysis; entropy weight TOPSIS; quality difference evaluation; vanillic acid; isovanillic acid; rhamnetin; luteolin; quercetin; diosmetin; oleanolic acid; ursolic acid; anemarrhenasaponin A2; gracillin; prosapogenin A; dioscin; protogracillin

牛尾菜 *Smilax riparia* A. DC.为百合科植物牛尾菜的干燥根及根茎^[1],为多年生草质藤本。具有舒筋通络、补气活血的功效,主治气虚浮肿、筋骨疼痛、咳血吐血等^[2]。在我国分布相对广泛^[3-4]。牛尾菜属于菝葜属,为药食同源植物,主要含有甾体皂苷类、黄酮及其苷类、有机酸类、苯丙素类、萜类等多种成分^[5-7],其提取物及其中多种单体化合物具有抗炎、镇痛、抗肿瘤、抗糖尿病、抗氧化及抗尿酸血症等作用^[8-10]。牛尾菜收载于地方标准^[2],标准仅规定了炮制方法、性状、显微鉴别,检查了水分、总灰分和酸不溶性灰分,与其质量控制和评价相关的文献报道较少,同时牛尾菜药材质量因受生长年限、生长环境、采收期、炮制方式等多方面因素的影响而千差万别,因此对牛尾菜药材质量进行全面控制和综合评价研究显得尤为重要。

本研究采集 8 省 18 批牛尾菜,利用 HPLC 法检测香草酸、异香草酸、鼠李素、木犀草素、槲皮

素、香叶木素、齐墩果酸、熊果酸、知母皂苷 A2、纤细薯蓣皂苷、薯蓣次皂苷 A、薯蓣皂苷、原纤细薯蓣皂苷、 β -谷甾醇、豆甾醇的含量,同时参考地方标准检查总灰分和酸不溶性灰分,为进一步丰富牛尾菜的质量标准提供参考;基于含量测量值,利用化学计量学和熵权 TOPSIS 法^[11]分析评价不同产地牛尾菜质量,为牛尾菜的质量评价提供新思路。

1 仪器与材料

1.1 仪器

Agilent 1100 型高效液相色谱仪(美国 Agilent 公司);BSA224S CW 型分析天平(北京赛多利斯);SB-5200YDTD 型超声波清洗器(上海倍卓生物科技有限公司)。

1.2 试药

对照品香草酸(批号 110776-202404,质量分数 99.5%)、熊果酸(批号 110742-202424,质量分数 99.7%)、槲皮素(批号 100081-202411,质量分

数 98.7%)、薯蓣皂苷(批号 111707-202404, 质量分数 97.9%)、木犀草素(批号 111520-202107, 质量分数 96.3%)、香叶木素(批号 111788-202102, 质量分数 96.4%)、齐墩果酸(批号 110709-202109, 质量分数 95.8%)和 β -谷甾醇(批号 110851-201909, 质量分数 92.7%) 购于中国食品药品检定研究院; 异香草酸(批号 T5767-140540, 质量分数 98.3%)、鼠李素(批号 TN1419-251991, 质量分数 99.9%)、知母皂苷 A2(批号 T126293-252199, 质量分数 98.9%)、纤细薯蓣皂苷(批号 T3774-150586, 质量

分数 98.7%)、薯蓣次皂苷 A(批号 T5S1252-250103, 质量分数 99.6%)、豆甾醇(批号 T2967-149658, 质量分数 99.6%) 和原纤细薯蓣皂苷(批号 T2S1749-154146, 质量分数 99.7%) 购于上海陶术生物科技有限公司; 乙腈和磷酸(色谱纯, 质量分数), 甲醇为分析纯。

1.3 药材

牛尾菜药材经江西中医药大学药学院罗晶副教授鉴定为百合科拔葵属植物牛尾菜 *S. riparia* A. DC. 的干燥根及根茎, 样品信息见表 1。

表 1 牛尾菜样品采集信息
Table 1 Sample collection information of *S. riparia*

编号	采集地	采集时间	编号	采集地	采集时间
S1	浙江新昌县	2024-10	S10	黑龙江尚志市	2024-10
S2	浙江景宁县	2024-10	S11	黑龙江依兰县	2024-10
S3	福建光泽县	2024-09	S12	黑龙江虎林市	2024-10
S4	福建连城县	2024-09	S13	湖南沅陵县	2024-09
S5	福建建宁县	2024-09	S14	湖南通道县	2024-09
S6	广东连山县	2024-10	S15	江西遂川县	2024-10
S7	广东连南县	2024-10	S16	江西峡江县	2024-10
S8	辽宁宽甸县	2024-09	S17	湖北兴山县	2024-09
S9	辽宁清原县	2024-09	S18	湖北罗田县	2024-09

2 方法与结果

2.1 多指标定量检测

2.1.1 混合对照品溶液制备 精密称取香草酸、异香草酸、鼠李素、木犀草素、槲皮素、香叶木素、齐墩果酸、熊果酸、知母皂苷 A2、纤细薯蓣皂苷、薯蓣次皂苷 A、薯蓣皂苷、原纤细薯蓣皂苷、 β -谷甾醇、豆甾醇对照品, 用 70% 甲醇溶解制成质量浓度分别为 0.340、0.064、0.112、0.270、0.496、0.302、0.148、0.056、0.610、0.234、0.398、0.930、0.576、0.092 和 0.038 mg/mL 的混合对照品贮备液, 精密吸取该贮备液 1.0 mL, 加 70% 甲醇定容至 20 mL 量瓶, 制成上述对照品质量浓度分别为 17.00、3.20、5.60、13.50、24.80、15.10、7.40、2.80、30.50、11.70、19.90、46.50、28.80、4.60、1.90 μ g/mL 的混合对照品溶液。

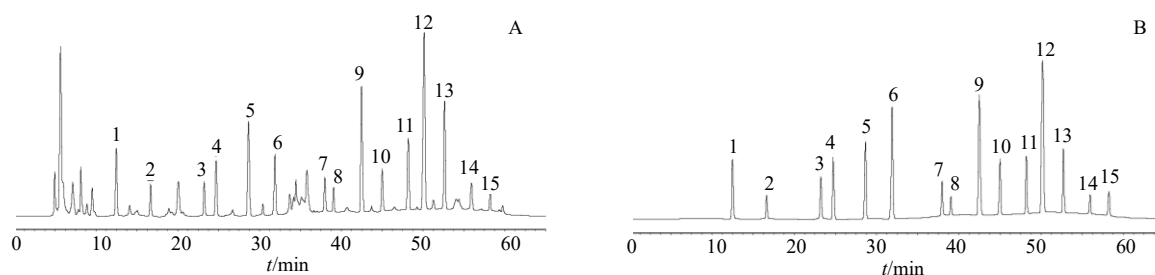
2.1.2 供试品溶液制备 精密称取牛尾菜药材粉末约 0.5 g, 加 70% 甲醇 25 mL, 称定质量, 超声处理 40 min, 静置至室温, 用 70% 甲醇补充提取中减少的质量, 摇匀, 滤过, 即得。

2.1.3 色谱条件 采用 Symmetry C₁₈ 色谱柱(250 mm $\times$ 4.6 mm, 5 μ m), 乙腈-0.3% 磷酸水为流动相, 梯度洗脱(0~9 min, 15.0% 乙腈; 9~18 min, 15.0%~28.0% 乙腈; 18~34 min, 28.0%~40.0% 乙

腈; 34~60 min, 40.0%~62.0% 乙腈; 60~65 min, 62.0%~15.0% 乙腈), 体积流量 1.0 mL/min; 柱温 30 $^{\circ}$ C; 检测波长 280 nm(0~18 min 检测香草酸和异香草酸)、345 nm(18~34 min 检测鼠李素、木犀草素、槲皮素和香叶木素)、210 nm(34~65 min 检测齐墩果酸、熊果酸、知母皂苷 A2、纤细薯蓣皂苷、薯蓣次皂苷 A、薯蓣皂苷、原纤细薯蓣皂苷、 β -谷甾醇和豆甾醇); 进样量 10 μ L。在此条件下, 供试品溶液中香草酸、异香草酸、鼠李素、木犀草素、槲皮素、香叶木素、齐墩果酸、熊果酸、知母皂苷 A2、纤细薯蓣皂苷、薯蓣次皂苷 A、薯蓣皂苷、原纤细薯蓣皂苷、 β -谷甾醇、豆甾醇色谱峰与周围色谱峰的分离情况良好(图 1)。

2.1.4 线性关系考察 精密量取“2.1.1”项贮备液适量, 加 70% 甲醇稀释制得系列浓度的混合对照品溶液。按照“2.1.3”项条件检测, 以各对照品质量浓度(X)对峰面积(Y)绘制标准曲线, 计算回归方程, 结果见表 2。 R^2 均 >0.999 , 表明 15 个成分在相应的质量浓度范围内线性关系良好^[12]。

2.1.5 精密度试验 取牛尾菜(S1)供试品溶液一份, 连续进样 6 次, 记录香草酸、异香草酸、鼠李素、木犀草素、槲皮素、香叶木素、齐墩果酸、熊



1-香草酸; 2-异香草酸; 3-鼠李素; 4-木犀草素; 5-槲皮素; 6-香叶木素; 7-齐墩果酸; 8-熊果酸; 9-知母皂苷 A2; 10-纤细薯蓣皂苷; 11-薯蓣次皂苷 A; 12-薯蓣皂苷; 13-原纤细薯蓣皂苷; 14-β-谷甾醇; 15-豆甾醇。

1-vanillic acid; 2-isovanillic acid; 3-rhamnetin; 4-luteolin; 5-quercetin; 6-diosmetin; 7-oleanolic acid; 8-ursolic acid; 9-anemarrhenasaponin A2; 10-gracillin; 11-prosapogenin A; 12-dioscin; 13-protogracillin; 14-β-sitosterol; 15-stigmasterol.

图 1 混合对照品 (A) 和供试品 (B) 溶液高效液相色谱图

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

表 2 15 个成分线性关系

Table 2 Linear relationships of 15 components

对照品	回归方程	线性范围/($\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$)	R^2
香草酸	$Y=3.856\ 9\times 10^6 X+1\ 294.2$	1.70~85.00	0.999 5
异香草酸	$Y=9.651\ 4\times 10^5 X-1\ 065.1$	0.32~16.00	0.999 3
鼠李素	$Y=1.637\ 2\times 10^6 X+864.7$	0.56~28.00	0.999 6
木犀草素	$Y=3.288\ 4\times 10^6 X-913.8$	1.35~67.50	0.999 9
槲皮素	$Y=4.420\ 7\times 10^6 X+672.5$	2.48~124.00	0.999 6
香叶木素	$Y=3.502\ 6\times 10^6 X+493.2$	1.51~75.50	0.999 3
齐墩果酸	$Y=2.124\ 3\times 10^6 X+771.8$	0.74~37.00	0.999 6
熊果酸	$Y=7.912\ 5\times 10^5 X+1\ 143.1$	0.28~14.00	0.999 4
知母皂苷 A2	$Y=5.433\ 9\times 10^6 X-1\ 607.9$	3.05~152.50	0.999 8
纤细薯蓣皂苷	$Y=2.588\ 1\times 10^6 X+930.2$	1.17~58.50	0.999 3
薯蓣次皂苷 A	$Y=4.117\ 5\times 10^6 X+891.7$	1.99~99.50	0.999 2
薯蓣皂苷	$Y=6.223\ 1\times 10^6 X+1\ 074.5$	4.65~232.50	0.999 5
原纤细薯蓣皂苷	$Y=4.881\ 6\times 10^6 X+2\ 192.3$	2.88~144.00	0.999 7
β-谷甾醇	$Y=1.302\ 7\times 10^6 X+737.6$	0.46~23.00	0.999 9
豆甾醇	$Y=5.348\ 9\times 10^5 X-935.4$	0.19~9.50	0.999 8

果酸、知母皂苷 A2、纤细薯蓣皂苷、薯蓣次皂苷 A、薯蓣皂苷、原纤细薯蓣皂苷、β-谷甾醇和豆甾醇色谱峰峰面积, 结果峰面积的 RSD 依次为 1.19%、1.64%、1.49%、1.20%、1.03%、1.14%、1.37%、1.72%、0.82%、1.28%、1.07%、0.84%、0.96%、1.53%、1.81%, 均<2%, 表明试验用仪器精密度良好。

2.1.6 供试品溶液稳定性考察 取一份牛尾菜 (S1) 供试品溶液, 于制备后 0、2、4、8、12、24 h 进样检测, 记录香草酸、异香草酸、鼠李素、木犀草素、槲皮素、香叶木素、齐墩果酸、熊果酸、知母皂苷 A2、纤细薯蓣皂苷、薯蓣次皂苷 A、薯蓣皂苷、原纤细薯蓣皂苷、β-谷甾醇和豆甾醇色谱峰峰面积, 结果峰面积的 RSD 依次为 1.28%、1.76%、1.62%、1.41%、1.16%、1.39%、1.55%、1.90%、1.04%、1.47%、1.21%、1.03%、1.11%、1.65%、1.93%, 均<2%, 表

明供试品溶液 24 h 内稳定性良好。

2.1.7 重复性试验 精密称取牛尾菜 (S1) 粉末 6 份, 分别制成供试品溶液, 进样检测, 计算香草酸、异香草酸、鼠李素、木犀草素、槲皮素、香叶木素、齐墩果酸、熊果酸、知母皂苷 A2、纤细薯蓣皂苷、薯蓣次皂苷 A、薯蓣皂苷、原纤细薯蓣皂苷、β-谷甾醇和豆甾醇含量, 结果各成分含量的 RSD 依次为 1.37%、1.79%、1.64%、1.51%、1.28%、1.46%、1.61%、1.84%、1.14%、1.53%、1.22%、1.06%、1.13%、1.71%、1.88%, 均<2%, 表明建立的方法重复性良好。

2.1.8 加样回收率试验 取 9 份已测定的牛尾菜 (S1), 每份 0.25 g, 精密称定, 分别加入 0.8、1.0、1.2 mL 混合对照品溶液 (香草酸、异香草酸、鼠李素、木犀草素、槲皮素、香叶木素、齐墩果酸、熊

果酸、知母皂苷 A2、纤细薯蓣皂苷、薯蓣次皂苷 A、薯蓣皂苷、原纤细薯蓣皂苷、 β -谷甾醇和豆甾醇质量浓度分别为 0.179、0.037、0.054、0.141、0.247、0.154、0.082、0.029、0.431、0.117、0.209、0.618、0.301、0.052、0.021 mg/mL), 再按照“2.1.2”项方法制成供试品溶液, 按照“2.1.3”项条件检测, 计算 15 个成分的平均加样回收率分别为 99.15%、97.92%、98.60%、99.62%、100.13%、98.15%、97.06%、96.99%、100.14%、98.22%、98.55%、100.01%、98.79%、97.57%和 98.11%, RSD 分别为

1.45%、1.09%、1.53%、0.99%、0.83%、1.31%、1.20%、1.01%、0.73%、1.56%、1.12%、0.62%、0.71%、1.38%和 1.22%, 均 $\leq$ 2%, 表明建立的方法准确性良好^[13]。

2.1.9 含量测定 取 18 批牛尾菜药材, 按照“2.1.2”项方法制备供试品溶液, 平行操作 3 份, 注入液相色谱仪, 计算香草酸、异香草酸、鼠李素、木犀草素、槲皮素、香叶木素、齐墩果酸、熊果酸、知母皂苷 A2、纤细薯蓣皂苷、薯蓣次皂苷 A、薯蓣皂苷、原纤细薯蓣皂苷、 β -谷甾醇和豆甾醇含量, 结果见表 3。

表 3 牛尾菜中 15 个成分含量测定结果 ($n=3$)

Table 3 Content determination results of 15 components in *S. riparia* ($n=3$)

编号	质量分数/(mg·g ⁻¹)														
	香草酸	异香草酸	鼠李素	木犀草素	槲皮素	香叶木素	齐墩果酸	熊果酸	知母皂苷 A2	纤细薯蓣皂苷	薯蓣次皂苷 A	薯蓣皂苷	原纤细薯蓣皂苷	β -谷甾醇	豆甾醇
S1	0.728	0.142	0.226	0.559	0.974	0.609	0.326	0.114	1.745	0.481	0.823	2.459	1.216	0.197	0.082
S2	0.847	0.134	0.245	0.670	1.035	0.685	0.376	0.132	1.606	0.437	0.888	2.651	1.346	0.252	0.088
S3	0.548	0.092	0.231	0.676	1.075	0.931	0.410	0.146	1.814	0.493	1.005	3.007	1.276	0.275	0.083
S4	0.690	0.111	0.269	0.556	1.290	0.821	0.371	0.126	1.783	0.459	0.945	2.804	1.177	0.227	0.093
S5	0.807	0.126	0.251	0.615	1.156	0.778	0.401	0.137	1.722	0.470	0.916	2.757	1.244	0.243	0.096
S6	0.650	0.107	0.259	0.651	1.229	0.859	0.409	0.143	1.807	0.494	1.000	2.958	1.141	0.236	0.099
S7	0.589	0.098	0.288	0.581	1.327	0.892	0.354	0.117	1.774	0.434	0.948	2.863	1.062	0.205	0.088
S8	0.496	0.096	0.199	0.515	0.807	0.721	0.217	0.103	1.506	0.391	0.779	2.327	1.176	0.189	0.101
S9	0.394	0.081	0.206	0.586	0.755	0.988	0.233	0.098	1.434	0.408	0.767	2.283	1.034	0.160	0.117
S10	0.421	0.093	0.231	0.423	0.784	0.842	0.229	0.101	1.500	0.418	0.798	2.395	1.062	0.174	0.113
S11	0.379	0.074	0.212	0.545	0.620	1.007	0.252	0.095	1.389	0.394	0.740	2.217	0.965	0.123	0.123
S12	0.338	0.085	0.197	0.532	0.685	0.883	0.192	0.098	1.360	0.379	0.711	2.120	1.003	0.113	0.119
S13	1.113	0.160	0.290	0.520	1.683	0.596	0.357	0.181	2.101	0.608	1.145	3.425	1.558	0.182	0.070
S14	1.085	0.168	0.360	0.508	1.746	0.509	0.274	0.168	2.194	0.635	1.117	3.328	1.652	0.220	0.074
S15	1.036	0.176	0.305	0.490	1.620	0.735	0.382	0.175	2.237	0.596	1.221	3.657	1.490	0.154	0.068
S16	1.174	0.200	0.349	0.472	1.814	0.552	0.316	0.187	2.281	0.651	1.182	3.523	1.620	0.190	0.063
S17	1.213	0.184	0.324	0.454	1.558	0.496	0.209	0.161	2.147	0.621	1.060	3.156	1.584	0.148	0.077
S18	0.991	0.151	0.315	0.442	1.392	0.647	0.346	0.154	1.908	0.579	1.089	3.245	1.522	0.167	0.080

2.1.10 总灰分和酸不溶性灰分 取 18 批牛尾菜药材, 参照《中国药典》2025 年版四部^[14]通则 2302 灰分测定法。结果总灰分量的均值分别为 5.4%、6.4%、6.9%、5.7%、7.2%、6.1%、6.3%、8.2%、8.6%、8.1%、9.5%、8.3%、3.8%、4.2%、4.9%、3.6%、3.7%、4.1%, 酸不溶性灰分量的均值分别为 2.5%、2.7%、2.1%、2.8%、2.0%、1.9%、2.4%、3.2%、2.8%、3.5%、2.6%、2.3%、1.5%、1.9%、1.7%、1.4%、1.6%、2.1%。

2.2 多元统计分析

2.2.1 聚类分析与主成分分析 (principal component

analysis, PCA) 利用 SPSS26.0 软件对 18 批牛尾菜中 17 个指标含量数据进行聚类分析, 结果当欧氏距离为 10 时, 18 批样品聚为 3 类 (图 2), 源自辽宁和黑龙江牛尾菜样品 S8~S12 聚为一类, 源自浙江、福建和广东牛尾菜样品 S1~S7 聚为一类, 采集于江西、湖南和湖北牛尾菜样品 S13~S18 聚为一类。进一步对上述 17 个指标的测量值提取主成分, 结果当累积方差贡献率 $>5.0\%$ 时, 有 2 个主成分的特征值 >1 , 其中主成分 1 的特征值为 12.519, 方差贡献率为 73.640%, 香草酸、异香草酸、鼠李素、槲皮素、香叶木素、熊果酸、

知母皂苷 A2、纤细薯蓣皂苷、薯蓣次皂苷 A、薯蓣皂苷、原纤细薯蓣皂苷、豆甾醇、总灰分和酸不溶性灰分对主成分 1 贡献率较高；主成分 2 的特征值为 2.467，方差贡献率为 14.509%，综合了木犀草素、齐墩果酸和 β -谷甾醇的信息，2 个主成分可充分体现药材基本特征（表 4）。同时利用 SIMCA 14.1 软件对以上含量数据构建主成分分析模型，以验证聚类分析的可靠性，结果与聚类分析结果相互印证^[15]（图 3）。

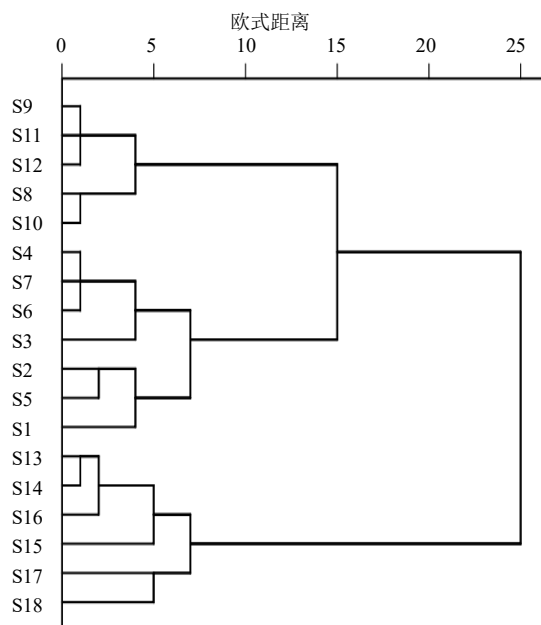


图 2 18 批牛尾菜的聚类分析图

Fig. 2 Cluster analysis diagram of 18 batches of *S. riparia*

表 4 成分矩阵

Table 4 Composition matrix table

指标	因子载荷值		成分得分系数	
	主成分1	主成分2	主成分1	主成分2
香草酸	0.966	-0.078	0.077	-0.032
异香草酸	0.939	-0.193	0.075	-0.078
鼠李素	0.921	-0.104	0.074	-0.042
木犀草素	-0.308	0.867	-0.025	0.352
槲皮素	0.971	0.047	0.078	0.019
香叶木素	-0.798	0.294	-0.064	0.119
齐墩果酸	0.365	0.856	0.029	0.347
熊果酸	0.969	0.117	0.077	0.047
知母皂苷A2	0.981	0.014	0.078	0.006
纤细薯蓣皂苷	0.974	-0.111	0.078	-0.045
薯蓣次皂苷A	0.955	0.133	0.076	0.054
薯蓣皂苷	0.954	0.135	0.076	0.055
原纤细薯蓣皂苷	0.949	-0.109	0.076	-0.044
β -谷甾醇	0.173	0.858	0.014	0.348
豆甾醇	-0.941	-0.143	-0.075	-0.058
总灰分	-0.955	0.032	-0.076	0.013
酸不溶性灰分	-0.804	-0.090	-0.064	-0.036

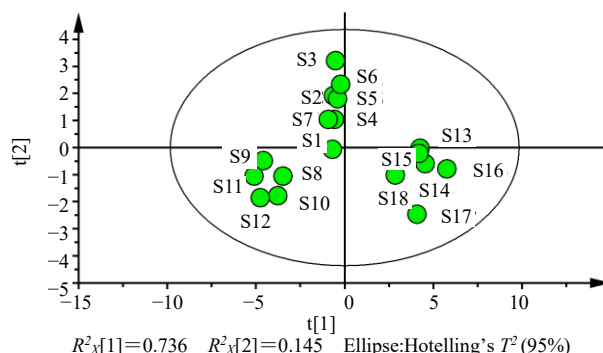


图 3 18 批牛尾菜的 PCA 得分图

Fig. 3 PCA score chart of 18 batches of *S. riparia*

2.2.2 正交偏最小二乘法-判别分析 (orthogonal partial least squares-discriminant analysis, OPLS-DA) 在主成分分析基础上，运行 OPLS-DA 程序，得到 OPLS-DA 模型，18 批样品可明显区分开（图 4）。进而以变量权重（VIP）值 >1 筛选质量差异标志物，VIP 值越大表明该指标对牛尾菜分类和质量差异的贡献越高。结果筛选出 8 个 $VIP > 1$ 的指标，对牛尾菜分类和质量差异影响程度依次为薯蓣皂苷（ $VIP=1.6364$ ）、槲皮素（ $VIP=1.4527$ ）、木犀草素（ $VIP=1.3501$ ）、知母皂苷 A2（ $VIP=1.2864$ ）、齐墩果酸（ $VIP=1.2699$ ）、香草酸（ $VIP=1.2680$ ）、原纤细薯蓣皂苷（ $VIP=1.1176$ ）和 β -谷甾醇（ $VIP=1.0514$ ）（图 5）。在此基础采用统计推断分析进一步验证模型^[16]，模型经 200 次置换检验，结果最右侧的 R^2 值和 Q^2 值均高于左侧 R^2 和 Q^2 值（图 6），表明建立的 OPLS-DA 模型无过拟合现象。

2.2.3 因子分析 (factor analysis, FA) 为综合评价

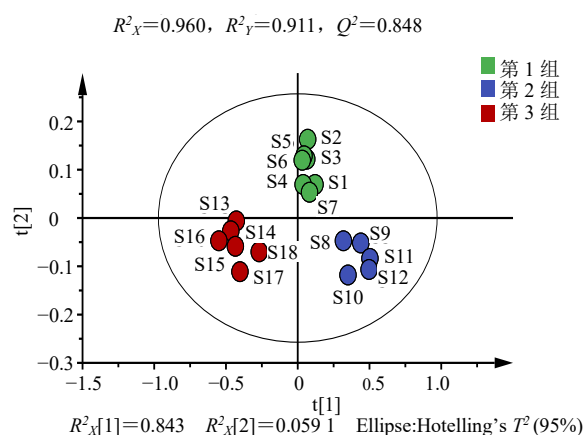
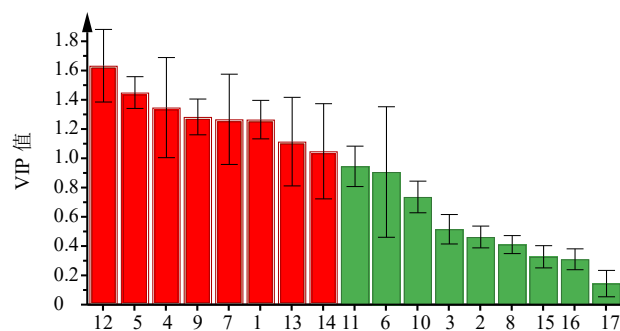


图 4 18 批牛尾菜样品 OPLS-DA 得分图

Fig. 4 OPLS-DA score chart of 18 batches of *S. riparia*



1-香草酸; 2-异香草酸; 3-鼠李素; 4-木犀草素; 5-槲皮素; 6-香叶木素; 7-齐墩果酸; 8-熊果酸; 9-知母皂苷 A2; 10-纤细薯蓣皂苷; 11-薯蓣次皂苷 A; 12-薯蓣皂苷; 13-原纤细薯蓣皂苷; 14-β-谷甾醇; 15-豆甾醇; 16-总灰分; 17-酸不溶性灰分。

1-vanillic acid; 2-isovanillic acid; 3-rhamnetin; 4-luteolin; 5-quercetin; 6-diosmetin; 7-oleanolic acid; 8-ursolic acid; 9-anemarrhenasaponin A2; 10-gracillin; 11-prosapogenin A; 12-dioscin; 13-protogracillin; 14-β-sitosterol; 15-stigmasterol; 16-total ash; 17-acid insoluble ash.

图 5 OPLS-DA 中各成分 VIP 图

Fig. 5 VIP plot of each component in OPLS-DA

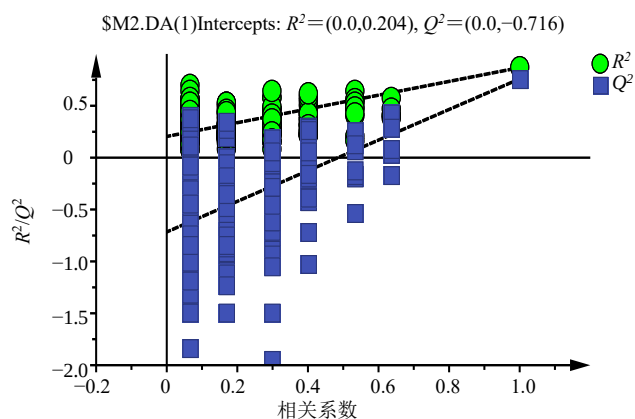


图 6 OPLS-DA 置换检测结果

Fig. 6 OPLS-DA replacement detection result graph

不同产地的牛尾菜整体质量, 首先采用 KMO 分析方法, 以评估含量数据是否适宜开展 FA, 结果 KMO 值 = 0.770 (> 0.6), 表明数据适合进行 FA^[17]。用“2.2.1”项提取的 2 个主成分对不同产地的牛尾菜药材进行综合评价。首先对各指标含量数据标准化处理, 处理后数据与成分得分系数对应相乘计算第 1、2 主成分得分; 利用主成分的方差贡献率与累积方差贡献率的商计算第 1、2 主成分的权重系数, 进而计算综合得分^[17] (得分越高, 表明样品整体质量越好), 并据此对 18 批牛尾菜样品质量排序, 见表 5。

表 5 18 批牛尾菜主成分得分及排序

Table 5 Principal component scores and ranking of 18 batches of *S. riparia*

编号	主成分1得分	主成分2得分	综合得分	排序
S1	-0.199	-0.039	-0.173	13
S2	-0.185	1.224	0.047	10
S3	-0.145	2.048	0.217	7
S4	-0.167	0.659	-0.031	11
S5	-0.111	1.162	0.099	9
S6	-0.067	1.482	0.189	8
S7	-0.266	0.672	-0.111	12
S8	-0.983	-0.680	-0.933	14
S9	-1.286	-0.296	-1.123	16
S10	-1.064	-1.129	-1.075	15
S11	-1.437	-0.673	-1.311	17
S12	-1.339	-1.177	-1.312	18
S13	1.205	-0.009	1.005	3
S14	1.287	-0.387	1.011	2
S15	1.183	-0.122	0.968	4
S16	1.629	-0.489	1.280	1
S17	1.158	-1.562	0.709	5
S18	0.802	-0.634	0.565	6

2.3 熵权 TOPSIS 分析

以牛尾菜中的 17 个指标含量原始数据为变量构建熵权 TOPSIS 模型, 指标成分香草酸、异香草酸、鼠李素、木犀草素、槲皮素、香叶木素、齐墩果酸、熊果酸、知母皂苷 A2、纤细薯蓣皂苷、薯蓣次皂苷 A、薯蓣皂苷、原纤细薯蓣皂苷、β-谷甾醇、豆甾醇均为牛尾菜药效成分, 含量越高临床疗效越佳, 属于越大越优型正向指标; 总灰分和酸不溶性灰分属于越小越优型逆向指标。按文献公式^[18-19]分别对牛尾菜中的 17 个指标含量原始数据进行无纲化处理。再按文献公式^[18-19]计算牛尾菜中 17 个定量检测指标的信息熵及权重, 将 17 个定量检测指标的权重与无纲化后数据相乘得加权决策矩阵 (表 6), 根据矩阵确定正理想解 (Z_j^+)、负理想解 (Z_j^-), 计算欧式距离, 再计算相对贴近度。

$$D_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (Z_{ij} - Z_j^-)^2} \quad (1)$$

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

$$C_i = \frac{D_i^-}{D_i^+ + D_i^-} \quad (3)$$

C_i 值在 0~1, 取值越大越接近理想解。根据 C_i 值对不同产地牛尾菜质量进行排序^[19], 结果见表 7。

表 6 加权决策矩阵
Table 6 Weighted decision matrix

编号	加权值																	
	香草酸	异香草酸	鼠李素	木犀草素	槲皮素	香叶木素	齐墩果酸	熊果酸	知母皂苷A2	纤细薯蓣皂苷	薯蓣次皂苷A	薯蓣皂苷原	纤细薯蓣皂苷	β-谷甾醇	豆甾醇	总灰分	酸不溶性灰分	
S1	0.030 0	0.037 1	0.013 1	0.027 1	0.017 3	0.012 1	0.033 1	0.016 0	0.026 1	0.028 7	0.012 9	0.012 8	0.024 1	0.022 3	0.017 2	0.030 0	0.015 7	
S2	0.039 1	0.032 7	0.021 8	0.049 3	0.020 3	0.020 2	0.045 5	0.031 2	0.016 7	0.016 3	0.020 4	0.020 0	0.036 5	0.036 9	0.022 6	0.022 7	0.012 5	
S3	0.016 2	0.009 8	0.015 4	0.050 5	0.022 3	0.046 6	0.053 9	0.043 0	0.030 8	0.032 1	0.033 9	0.033 4	0.029 8	0.043 0	0.018 1	0.019 0	0.021 9	
S4	0.027 1	0.020 2	0.032 6	0.026 5	0.032 8	0.034 8	0.044 3	0.026 2	0.028 7	0.022 5	0.027 0	0.025 7	0.020 3	0.030 3	0.027 2	0.027 8	0.011 0	
S5	0.036 1	0.028 4	0.024 5	0.038 3	0.026 3	0.030 2	0.051 7	0.035 4	0.024 5	0.025 6	0.023 6	0.024 0	0.026 8	0.034 5	0.029 9	0.016 8	0.023 5	
S6	0.024 0	0.018 0	0.028 1	0.045 5	0.029 8	0.038 9	0.053 7	0.040 5	0.030 3	0.032 4	0.033 3	0.031 5	0.016 9	0.032 6	0.032 6	0.024 9	0.025 1	
S7	0.019 3	0.013 1	0.041 3	0.031 5	0.034 6	0.042 4	0.040 1	0.018 6	0.028 0	0.015 5	0.027 3	0.027 9	0.009 3	0.024 4	0.022 6	0.023 4	0.017 2	
S8	0.012 2	0.012 0	0.000 9	0.018 4	0.009 2	0.024 1	0.006 2	0.006 8	0.009 9	0.003 4	0.007 8	0.007 8	0.020 2	0.020 2	0.034 4	0.009 5	0.004 7	
S9	0.004 3	0.003 8	0.004 1	0.032 5	0.006 6	0.052 7	0.010 1	0.002 5	0.005 0	0.008 2	0.006 5	0.006 1	0.006 6	0.012 5	0.048 9	0.006 6	0.011 0	
S10	0.006 4	0.010 4	0.015 4	0.000 0	0.008 0	0.037 0	0.009 1	0.005 1	0.009 5	0.011 0	0.010 0	0.010 3	0.009 3	0.016 2	0.045 2	0.010 3	0.000 0	
S11	0.003 2	0.000 0	0.006 8	0.024 4	0.000 0	0.054 7	0.014 8	0.000 0	0.002 0	0.004 2	0.003 3	0.003 6	0.000 0	0.002 7	0.054 3	0.000 0	0.014 1	
S12	0.000 0	0.006 0	0.000 0	0.021 8	0.003 2	0.041 4	0.000 0	0.002 5	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.003 6	0.000 0	0.050 7	0.008 8	0.018 8	
S13	0.059 6	0.046 9	0.042 2	0.019 4	0.052 1	0.010 7	0.040 8	0.072 5	0.050 2	0.064 5	0.050 0	0.049 1	0.056 9	0.018 3	0.006 3	0.041 7	0.031 3	
S14	0.057 5	0.051 3	0.073 9	0.017 0	0.055 2	0.001 4	0.020 3	0.061 6	0.056 5	0.072 1	0.046 8	0.045 4	0.065 9	0.028 4	0.010 0	0.038 8	0.025 1	
S15	0.053 7	0.055 6	0.049 0	0.013 4	0.049 0	0.025 6	0.047 0	0.067 5	0.059 4	0.061 1	0.058 8	0.057 8	0.050 4	0.010 9	0.004 5	0.033 7	0.028 2	
S16	0.064 3	0.068 7	0.068 9	0.009 8	0.058 5	0.006 0	0.030 7	0.077 6	0.062 4	0.076 6	0.054 3	0.052 8	0.062 8	0.020 4	0.000 0	0.043 2	0.032 9	
S17	0.067 3	0.060 0	0.057 6	0.006 2	0.046 0	0.000 0	0.004 2	0.055 7	0.053 3	0.068 2	0.040 2	0.039 0	0.059 4	0.009 3	0.012 7	0.042 5	0.029 8	
S18	0.050 2	0.042 0	0.053 5	0.003 8	0.037 8	0.016 2	0.038 1	0.049 8	0.037 1	0.056 3	0.043 6	0.042 3	0.053 4	0.014 3	0.015 4	0.039 5	0.021 9	

表 7 18 批牛尾菜品质排序结果
Table 7 Ranking of quality score of 18 batches of *S. riparia*

编号	D_i^+	D_i^-	C_i	排序
S1	0.161 7	0.096 6	0.374 0	13
S2	0.145 1	0.120 8	0.454 3	10
S3	0.140 0	0.136 8	0.494 2	8
S4	0.140 8	0.116 3	0.452 4	11
S5	0.134 2	0.125 4	0.483 1	9
S6	0.129 3	0.135 7	0.512 1	7
S7	0.152 3	0.113 0	0.425 9	12
S8	0.203 5	0.061 0	0.230 6	18
S9	0.208 1	0.083 4	0.286 1	14
S10	0.202 8	0.069 6	0.255 5	16
S11	0.219 3	0.084 0	0.277 0	15
S12	0.224 1	0.072 5	0.244 4	17
S13	0.090 2	0.188 6	0.676 5	4
S14	0.0915	0.197 4	0.683 3	3
S15	0.086 9	0.192 5	0.689 0	2
S16	0.090 1	0.216 6	0.706 2	1
S17	0.110 3	0.183 9	0.625 1	5
S18	0.103 4	0.162 3	0.610 8	6

江西、湖南和湖北牛尾菜样品排名前 6 位，浙江、福建和广东牛尾菜样品排名中间 7 位，辽宁和黑龙江牛尾菜样品排名后 5 位。

3 讨论

牛尾菜收载于江西省中药饮片炮制规范（2023 年版），是《中国药典》2025 年版收载品种中华跌打丸的配方主药之一，在我国分布较广，为多年生草质藤本，是集食用、药用于一体的颇具开发利用价值的野生植物资源，根及根状茎可入药，一年四季均可采集。《江西省中药饮片炮制规范（2023 年版）》对牛尾菜的炮制、性状作为规定，制定了显微鉴别项，对水分、灰分、酸不溶性灰分的限量进行了检查，但未涉及化学成分的含量测定。牛尾菜所含化学成分复杂，香草酸和异香草酸为其有机酸类成分，具有明确的抗氧化、抗炎以及抗神经病理性疼痛等功效，对改善筋骨疼痛具有一定作用^[20]。槲皮素、木犀草素、鼠李素和香叶木素等为其黄酮类主要成分^[21]，其中槲皮素可通过抑制肿瘤坏死因子-α、白细胞介素-6 等炎症因子和抗氧化机制，减轻关节炎症及肌肉损伤，同时通过抗动脉粥样硬化改善血液循环，发挥舒筋通络、改善风湿性关节炎症等作用^[22]。木犀草素可通过抑制炎症介质释放减轻关节肿胀，同时抗炎和抗氧化特性可缓解风湿性疼痛^[23]；鼠李素通过抑制抑制炎症反应和调控特定信号通路发挥镇痛作用^[24]；香叶木素通过抑

制细胞凋亡、减少活性氧生成、促进一氧化氮释放,并调节蛋白表达,从而改善血管内皮功能,对咳血吐血具有一定保护作用^[25];齐墩果酸、熊果酸为其三萜类化合物,其中齐墩果酸是多种活血类中药的核心成分,通过促进血液循环、抗氧化保护和肝脏保护,发挥活血、气血调畅等作用^[26-27]。熊果酸可抑制炎症介质释放,缓解关节肿胀和疼痛,对湿痹拘挛有改善作用;还能增强机体抵抗力,辅助治疗慢性炎症性疾病;对金黄色葡萄球菌等致病菌的抑制作用可减少感染性炎症对气血的阻滞,从而起到活血作用^[28]。薯蓣皂苷、知母皂苷 A2、纤细薯蓣皂苷、薯蓣次皂苷 A 和原纤细薯蓣皂苷为其皂苷类主要化学成分,具有祛风除湿、舒筋通络、活血止痛、止咳平喘等作用,多用于关节炎、心脑血管疾病、癌症、糖尿病等多种疾病的防治^[29-30]。其中薯蓣皂苷通过调节 β -肾上腺素能受体-环磷酸腺苷系统及 M 胆碱受体-环磷酸腺苷系统,改善细胞水平受体失衡,具有滋阴补气效应,同时其抗血小板聚集成成分可促进血液循环。 β -谷甾醇和豆甾醇等为其甾醇类成分^[31], β -谷甾醇可通过抑制胆固醇吸收和调节血脂改善血液循环,其抗炎特性可辅助缓解风湿性关节痛;豆甾醇可抑制血小板聚集和增强血管内皮稳定性实现活血化瘀,其调节免疫的功能也可发挥间接补气作用^[32]。因此,对牛尾菜药材进行研究,可明确不同产地的质量差异,为牛尾菜药材质量标准的统一和制定提供依据。

本实验建立的 HPLC 法检测了 18 批牛尾菜药材中香草酸、异香草酸、鼠李素、木犀草素、槲皮素、香叶木素、齐墩果酸、熊果酸、知母皂苷 A2、纤细薯蓣皂苷、薯蓣次皂苷 A、薯蓣皂苷、原纤细薯蓣皂苷、 β -谷甾醇、豆甾醇含量,各成分在 18 批样品中均有检出,说明建立的方法具有可行性。各指标含量存在不同程度的波动,但均在各自的线性范围内,同时主成分分析得分图也显示各散点在置信区域内,说明检测的含量数据可信度高。

传统的中药材鉴别和质量控制方法需要操作者具有较丰富的鉴别和质控经验,主观性太强,将传统经验转为客观化和数字化表达可提高中药鉴别和质控的准确度和可信度。本研究在含量测定基础上构建了结合化学计量学和熵权 TOPSIS 法^[33]综合分析牛尾菜的综合质量评价模型,表 5 的 FA 结果与表 7 的熵权 TOPSIS 法评价结果基本一致,均揭示不同产地牛尾菜的质量存在差异,建立的方法

可用于区分、分析和评价牛尾菜的质量。通过多元统计分析将 18 批牛尾菜样品分为 3 类,根据各指标的变量权重值筛选出对牛尾菜质量影响较大的标志物为薯蓣皂苷、槲皮素、木犀草素、知母皂苷 A2、齐墩果酸、香草酸、原纤细薯蓣皂苷和 β -谷甾醇。后期将对这 8 个成分的药效学进行研究,为牛尾菜质量标准的充实奠定基础。18 批牛尾菜因子分析的综合得分为-1.312~1.280,熵权 TOPSIS 法的相对接近度为 0.230 6~0.706 2,均印证了样品间质量差异明显,以 S13~S18 采集于江西、湖南和湖北牛尾菜质量较好;其中因子分析与熵权 TOPSIS 法分析结果均显著采集于江西峡江县的 S16 批样品质量最优,结合含量数据,发现该批样品中异香草酸、熊果酸、知母皂苷 A2 和纤细薯蓣皂苷含量均最高,但豆甾醇含量偏低,其他成分含量均超出 18 批样品含量的均值,且总灰分和酸不溶性灰分含量最小,后期将在该产地收集更多批次的牛尾菜药材,为其道地性研究提供更多数据支撑。目前牛尾菜中药材地方标准,仅以百合科菝葜属植物牛尾菜干燥根及根茎入药,后续将进一步对尖叶牛尾菜、毛牛尾菜等变种,以及全草等其他药用部位开展深入研究,为扩大牛尾菜药用资源提供参考依据。

综上,基于多指标含量测量值建立的多元统计分析及熵权 TOPSIS 法不同产地牛尾菜质量评价模型,具有较高的科学性、客观性,可用于指导牛尾菜药材质量标准的统一和提高,为牛尾菜全面质量控制和评价提供参考。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

- [1] 中国科学院,中国植物志编辑委员会. 中国植物志 [M]. 北京: 科学技术出版社, 1978: 190.
- [2] 江西省中药饮片炮制规范 [S]. 2023: 64-65.
- [3] 刘亚男, 刘丹, 刘倩, 等. 牛尾菜资源开发利用价值及栽培技术研究 [J]. 农业科技与装备, 2024(6): 6-7.
- [4] 邵美妮, 李天来, 徐树军, 等. 牛尾菜的资源利用与研究现状 [J]. 安徽农业科学, 2006, 34(12): 2722-2723.
- [5] 邹大江. 牛尾菜的化学成分研究 [D]. 武汉: 中南民族大学, 2014.
- [6] 谭小青, 杜沛霖, 覃喜军, 等. 气相色谱-质谱联用法分析牛尾菜根和茎叶中挥发性成分的差异 [J]. 食品安全质量检测学报, 2021, 12(10): 4014-4019.
- [7] 陈荷莹, 金晨, 徐博伦, 等. 基于 UPLC-Q-TOF-MS/MS 技术对牛尾菜甾体皂苷类化学成分及其质谱裂解规律的分析 [J]. 中药材, 2023, 46(5): 1188-1196.

- [8] 陈荷莹. 牛尾菜和白背牛尾菜化学成分及抗痛风作用研究 [D]. 南昌: 江西中医药大学, 2024.
- [9] 谭小青, 胡筱希, 唐红珍, 等. 牛尾菜 HPLC 指纹图谱及抗氧化活性谱效关系研究 [J]. 广西植物, 2023, 43(11): 2131-2138.
- [10] 董升, 李博腾, 张淑华, 等. 牛尾菜化学成分与药理作用研究进展 [J]. 沈阳药科大学学报, 2021, 38(3): 304-313.
- [11] 杨志城, 孙彩虹, 叶冠. 基于多糖及熵权-TOPSIS 的枸杞子药材质量评价 [J]. 中医药学报, 2025, 53(6): 32-39.
- [12] 李敏, 乔旭, 魏建和, 等. 基于 UPLC 多指标测定和指纹图谱对不同来源茵陈药材质量评价 [J]. 中草药, 2025, 56(1): 282-292.
- [13] 崔志颖, 贾哲, 王双节, 等. 基于熵权 TOPSIS 法的桑白皮咀嚼片工艺优化及其与传统饮片的质量对比研究 [J]. 中国药理学杂志, 2025, 60(11): 1125-1134.
- [14] 中国药典 [S]. 四部. 2025: 309.
- [15] 余灵静, 鲁方奇, 陈诺, 等. 基于指纹图谱和含量测定结合多元统计分析芍药甘草汤的质量标志物 [J]. 世界中医药, 2025, 20(5): 718-725.
- [16] 赵法法, 郭晔红, 高培文, 等. 基于含量测定和多元统计分析评价不同寄主肉苁蓉质量 [J]. 中成药, 2025, 47(8): 2496-2506.
- [17] 张宝生, 井晓庆, 王星元. 基于因子分析和 Logistic 回归的食品安全网络舆情热度预测 [J]. 科技和产业, 2025, 25(19): 305-311.
- [18] 谢伟容, 高伟城, 王小平, 等. 基于熵权 TOPSIS 法综合分析评价不同产地牡丹皮质量 [J]. 牡丹江医科大学学报, 2025, 46(2): 128-132.
- [19] 史丛晶, 白浩东, 李雨昕, 等. 基于熵权法结合灰色关联法和 TOPSIS 法的不同产地知母及盐知母质量评价研究 [J]. 中国现代应用药学, 2023, 40(7): 873-880.
- [20] 陈雯, 唐生安, 秦楠, 等. 牛尾菜抗氧化活性成分研究 [J]. 中国中药杂志, 2012, 37(6): 806-810.
- [21] 苏圆圆, 王雪艳, 李成林, 等. 中药中黄酮类化合物的药理药效研究进展 [J]. 中兽医医药杂志, 2023, 42(6): 42-46.
- [22] 张舒宁, 叶淳, 兰清华, 等. 槲皮素的生药资源、药理作用及主要剂型研究进展 [J]. 温州医科大学学报, 2025, 55(1): 66-74.
- [23] 王琪, 李坤伟, 周长征. 木犀草素的药理作用及制剂研究进展 [J]. 北京联合大学学报, 2022, 36(1): 59-63.
- [24] 李旭东. 转录组测序技术分析鼠李素对心肌氧化应激损伤保护作用的分子机制研究 [D]. 长春: 吉林大学, 2018.
- [25] 马纳, 李亚静, 范吉平. 香叶木素药理作用研究进展 [J]. 辽宁中医药大学学报, 2018, 20(9): 214-217.
- [26] 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.
- [27] 沈晓静, 赵红梅, 赵蕾, 等. 齐墩果酸研究进展 [J]. 广州化工, 2019, 47(24): 16-19.
- [28] 李美睢, 卢婷, 赵建云, 等. 齐墩果酸和熊果酸的测定方法与药理作用研究进展 [J]. 青海草业, 2020, 29(4): 58-63.
- [29] 苗常鑫, 冷锦红. 薯蓣皂苷的药理作用及机制研究进展 [J]. 中华中医药学刊, 2024, 42(11): 113-118.
- [30] 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.
- [31] 刘艳平. 知母皂苷成分的药理活性及作用机制研究进展 [J]. 药学实践杂志, 2018, 36(1): 24-29.
- [32] 张文文, 向施, 陈慧, 等. β -谷甾醇对肿瘤的防治作用及其机制研究进展 [J]. 医药导报, 2024, 43(5): 757-761.

[责任编辑 时圣明]