

一测多评结合化学计量学及加权逼近理想解排序法对不同产地葎草药材的多指标质量控制及差异评价

廖春玲^{1,2}, 吴燕红³, 吴月华^{1,2}, 王志国⁴

1. 江西管理职业学院 生物医药系, 江西 南昌 330200
2. 江西省医药技师学院 江西省医药学校 生物医药系, 江西 南昌 330200
3. 江西省药品检验检测研究院, 江西 南昌 330029
4. 江西中医药大学药学院, 江西 南昌 330004

摘要: **目的** 建立一测多评 (quantitative analysis of multi-components by single-marker, QAMS) 结合化学计量学及加权逼近理想解排序 (technique for order preference by similarity to ideal solution, TOPSIS) 在不同产地葎草 *Humulus scandens* 药材多指标定量检测及质量差异评价中的应用方法。**方法** 对 7 省 18 个批次葎草样品进行回流提取, 以木犀草苷、白桦脂酸为内参物, 采用 QAMS 同时测定提取物中 10 种有效成分 (芦丁、牡荆素、木犀草苷、大波斯菊苷、木犀草素、芹菜素、齐墩果酸、白桦脂酸、 β -谷甾醇和豆甾醇), 并与外标法进行比较; 按《中国药典》2020 年版四部方法检测浸出物、总灰分和酸不溶性灰分。采用化学识别模式和加权 TOPSIS 法对 QAMS 法计算数据和浸出物、总灰分、酸不溶性灰分检测数据进行分析, 建立葎草质量差异评价模型。**结果** 建立了多成分 QAMS 定量方法, 方法学验证结果良好, 以木犀草苷、白桦脂酸为内参物时相对校正因子的均值可用于定量分析, 同时耐用性良好, 2 种方法所得含量结果无明显差异。浸出物、总灰分和酸不溶性灰分检测结果稳定。18 批样品聚为 3 类, 相邻产地聚为一组; 木犀草苷、豆甾醇、大波斯菊苷和齐墩果酸可能是影响葎草产品质量主要潜在标志物; 加权 TOPSIS 法分析结果显示 18 批葎草质量评价贴近度 (J_b) 在 0.244 8~0.688 4, 其中 S15 最大 (0.688 4)。**结论** 建立的 QAMS、化学计量学及加权 TOPSIS 法可用于不同产地葎草中多指标定量检测及质量差异评价。

关键词: 葎草; 一测多评法; 化学计量学; 加权 TOPSIS 法; 浸出物; 总灰分; 酸不溶性灰分; 木犀草苷; 豆甾醇; 大波斯菊苷; 齐墩果酸; 质量评价

中图分类号: R286.2 文献标志码: A 文章编号: 0253-2670(2024)14-4907-10

DOI: 10.7501/j.issn.0253-2670.2024.14.026

Application of QAMS, chemometrics and weighted TOPSIS in multi-index quality control and difference evaluation of *Humulus scandens* from different producing areas

LIAO Chunling^{1,2}, WU Yanhong³, WU Yuehua^{1,2}, WANG Zhiguo⁴

1. Department of Biomedicine, Jiangxi Management Vocational College, Nanchang 330200, China
2. Department of Biomedicine, Jiangxi Pharmaceutical Technician College & Jiangxi Pharmaceutical School, Nanchang 330200, China
3. Jiangxi Institute for Drug Control, Nanchang 330029, China
4. College of Pharmacy, Jiangxi University of Chinese Medicine, Nanchang 330004, China

Abstract: Objective To establish the application methods of quantitative analysis of multi-components by single-marker (QAMS), chemometrics and weighted technique for order preference by similarity to ideal solution (TOPSIS) in multi-index quantitative detection and quality difference evaluation of *Humulus scandens* from different producing areas. **Methods** Reflux extraction was performed on 18 batches of *H. scandens* from seven provinces, The QAMS method for simultaneously

收稿日期: 2024-03-25

基金项目: 江西省卫生健康委科技计划 (指导性计划) 项目 (20203763)

作者简介: 廖春玲 (1977—), 女, 汉族, 江西南昌人, 硕士, 高级讲师, 研究方向为药物质量与安全。

Tel: 13767008676 E-mail: nzavvm@163.com

determining the 10 active constituents (rutin, vitexin, luteolin-7-*O*-glucoside, cosmosiin, luteolin, apigenin, oleanolic acid, betulinic acid, β -sitosterol and stigmasterol) with luteolin-7-*O*-glucoside and betulinic acid as internal standards was developed and evaluated by comparison of the quantitative results with external standard method. The extract, total ash and acid-insoluble ash were detected according to the method of *Chinese Pharmacopoeia* 2020 Edition Volume IV. The results of survey were analyzed by chemical pattern recognition and weighted TOPSIS method, and the quality difference evaluation model of *H. scandens* was established. **Results** A multi-component QAMS quantitative method was established, and the methodological verification results were good. The mean value of the relative correction factor with luteoloside and betulinic acid as internal references could be used for quantitative analysis, and the durability was good. There was no significant difference in the content results obtained by the two methods. The test results of extract, total ash and acid-insoluble ash were stable. Eighteen batches of samples were clustered into three groups, and adjacent producing areas were clustered into one group. Luteolin-7-*O*-glucoside, stigmasterol, cosmosiin and oleanolic acid might be the main potential markers to influence the quality of *H. scandens*. The analysis results of the weighted TOPSIS method revealed that the closeness (J_b) for evaluating the quality of 18 batches of *H. scandens* ranged from 0.244 8 to 0.688 4, with S15 achieving the highest value of 0.688 4. **Conclusion** The established QAMS, chemometrics and weighted TOPSIS methods can be used for multi-index quantitative detection and quality difference evaluation of *H. scandens* from different producing areas.

Key words: *Humulus scandens* (Lour.) Merr.; QAMS; stochiometry; weighted TOPSIS; extract; total ash; acid-insoluble ash; luteolin-7-*O*-glucoside; stigmasterol; cosmosiin; oleanolic acid; quality evaluation

葎草为桑科植物葎草 *Humulus scandens* (Lour.) Merr. 的干燥全草, 具有抗菌、抗炎镇痛、抗结核病、抗腹泻、抗骨质疏松、抗肿瘤等作用, 主要含有黄酮类、萜类、甾体类、香豆素类、生物碱类和挥发油类成分, 其中黄酮类成分含量最高, 临床上主要用于肺热咳嗽、虚热烦渴、热淋、水肿、小便不利、湿热泻痢、热毒疮疡、皮肤瘙痒等病症的治疗, 葎草在我国资源分布广泛, 用药悠久, 具有较高的药用价值^[1-2]。葎草现收载于安徽省中药材标准(2022年版)^[3], 该标准仅对木犀草苷含量以及浸出物、总灰分等检查项进行了规定, 中药所含化学成分复杂, 种属、产地、采收时间及炮制方法等因素均直接影响其产品质量, 单指标定量不能有效评价其整体质量的优劣, 难以确保葎草产品质量稳定和临床疗效一致性。目前关于葎草的研究报道主要涉及其化学成分鉴定^[4-6]、药理作用机制研究^[7-11]以及 1~3 种成分定量分析^[12-13]等, 缺乏对该药物进行多指标质量控制和整体质量评价进行相关研究。

本研究收集安徽、江苏、广西、四川、湖南、江西、湖北 7 省不同产地 18 批葎草药材, 以木犀草苷、白桦脂酸为内参物, 采用一测多评(quantitative analysis of multi-components by single-marker, QAMS)法同时测定葎草中黄酮类化合物芦丁、牡荆素、木犀草苷、大波斯菊苷、木犀草素和芹菜素, 萜类化合物齐墩果酸和白桦脂酸, 甾体类化合物 β -谷甾醇和豆甾醇共 10 个成分的含量, 按《中国药典》2020 年版四部方法对其浸出物、总灰分和酸不溶性

灰分进行检测, 建立葎草多指标质量控制方法。同时以 QAMS 法含量结果及浸出物、总灰分和酸不溶性灰分检测数据为变量, 利用采用化学计量学^[14]和加权逼近理想解排序(technique for order preference by similarity to ideal solution, TOPSIS)法^[15]建立不同产地葎草质量差异评价模式, 旨在葎草质量标准提升、道地性研究以及活性成分药效物质基础研究提供参考和数据支持。

1 材料

1.1 试药

对照品牡荆素(批号 111687-202306, 质量分数 99.5%)、芹菜素(批号 111901-202205, 质量分数 98.4%)、木犀草苷(批号 111720-202312, 质量分数 98.1%)、芦丁(批号 100080-202012, 质量分数 91.6%)、木犀草素(批号 111520-202107, 质量分数 96.3%)、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%)源于中国食品药品检定研究院; 大波斯菊苷(批号 CFS202202, 质量分数 98.0%)、白桦脂酸(批号 CFS202202, 质量分数 98.0%)和豆甾醇(批号 CFS202201, 质量分数 98.0%)源于武汉天植生物科技有限公司; 高效液相用色谱乙腈和色谱磷酸(美国 Roe Scientific INC), 其他试剂为 AR 级; 实验用葎草经江西管理职业学院生物医药系廖春玲高级讲师鉴定为桑科植物葎草 *H. scandens* (Lour.) Merr. 的干燥全草, 其产地信息见表 1。

表 1 18 批葎草样品信息

Table 1 Information of 18 batches of *H. scandens* samples

编号	产地	批号	编号	产地	批号
S1	湖南汉寿县	230801	S10	广西上林县	230805
S2	湖南祁东县	230703	S11	四川仁寿县	230803
S3	江西万安县	220901	S12	四川屏山县	230902
S4	江西进贤县	220802	S13	安徽庐江县	230701
S5	江西横峰县	230802	S14	安徽休宁县	230701
S6	湖北秭归县	230701	S15	安徽旌德县	230803
S7	湖北竹溪县	230703	S16	江苏宝应县	230806
S8	广西永福县	220902	S17	江苏沭阳县	230902
S9	广西陆川县	220803	S18	江苏金湖县	230803

1.2 仪器

UltiMate 3000 型和 Thermo Vanquish 型 HPLC 仪分别源于美国赛默飞世尔科技公司和美国 Thermo Fisher Scientific 公司；色谱柱 Venusil XBP C₁₈、SGE protecol C₁₈ 和 Agilent Extend C₁₈，规格均为 250 mm×4.6 mm，5 μm；MS205DU 型电子天平（瑞士 Mettler toledo 公司）。

2 方法与结果

2.1 混合对照品溶液制备

取各对照品适量，准确称定后用 70% 甲醇混匀制成含芦丁 0.152 mg/mL、牡荆素 0.126 mg/mL、木犀草苷 1.310 mg/mL、大波斯菊苷 0.274 mg/mL、木犀草素 0.064 mg/mL、芹菜素 0.190 mg/mL、齐墩果酸 0.046 mg/mL、白桦脂酸 0.098 mg/mL、β-谷甾醇 0.032 mg/mL 和豆甾醇 0.108 mg/mL 的贮备液；精密吸取贮备液 1 mL，置 20 mL 量瓶中，用 70% 甲醇定容，摇匀，即得。

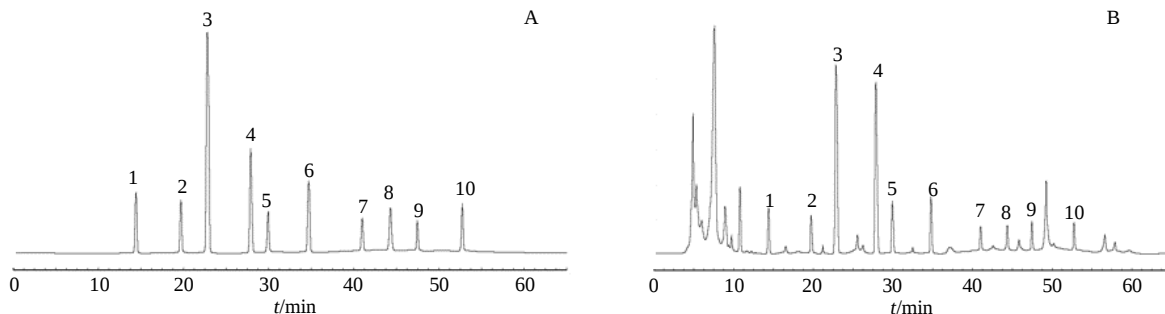
2.2 供试品溶液制备

取葎草粉末约 1.0 g，准确称定，准确加 70%

甲醇 25 mL，称定质量，在水浴中加热回流 60 min，冷却，补足质量，摇匀，静置，滤过，即得。

2.3 色谱条件

Venusil XBP C₁₈ 色谱柱；波长切换：0~37 min 在 340 nm 处检测芦丁、牡荆素、木犀草苷、大波斯菊苷、木犀草素和芹菜素^[12-13]，37~65 min 在 210 nm 处检测齐墩果酸、白桦脂酸、β-谷甾醇和豆甾醇^[16]；流动相 0.2% 磷酸水溶液-乙腈，梯度洗脱：0~12 min，13.0% 乙腈；12~37 min，13.0%~45.0% 乙腈；37~46 min，45.0%~62.0% 乙腈；46~56 min，62.0%~65.0% 乙腈；56~65 min，65.0%~13.0% 乙腈；运行时间：65 min；柱温 30 ℃，体积流量 1.0 mL/min，进样量 10 μL。对照品溶液和供试品溶液的 HPLC 色谱图显示芦丁、牡荆素、木犀草苷、大波斯菊苷、木犀草素、芹菜素、齐墩果酸、白桦脂酸、β-谷甾醇、豆甾醇色谱峰与相邻峰互不干扰，供试品呈现与对照品保留时间相同的色谱峰。具体见图 1。



1-芦丁；2-牡荆素；3-木犀草苷；4-大波斯菊苷；5-木犀草素；6-芹菜素；7-齐墩果酸；8-白桦脂酸；9-β-谷甾醇；10-豆甾醇。
1-rutin；2-vitexin；3-luteolin-7-O-glycoside；4-cosmosiin；5-luteolin；6-apigenin；7-oleanolic acid；8-betulinic acid；9-β-sitosterol；10-stigmasterol.

图 1 混合对照品 (A) 和供试品溶液 (B) 色谱图

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

2.4 标准曲线绘制

准确量取“2.1”项贮备液，置不同的量瓶中，用 70% 甲醇稀释 4、10、20、40、100 和 200 倍制成一定质量浓度差的 6 份溶液（1~6）。自动进样系统分别进样 10 μL，对收集的芦丁、牡荆素、木

犀草苷、大波斯菊苷、木犀草素、芹菜素、齐墩果酸、白桦脂酸、β-谷甾醇、豆甾醇峰面积与质量浓度进行线性回归，处理结果见表 2。由表 2 可知，10 个成分的相关系数均大于 0.999，线性关系良好。

表 2 线性关系考察
Table 2 Linear relationship

成分	回归方程	线性范围/(μg·mL ⁻¹)	r
芦丁	$Y=2.3168 \times 10^6 X - 1\,058.2$	0.76~38.00	0.999 1
牡荆素	$Y=2.0290 \times 10^6 X + 894.6$	0.63~31.50	0.999 3
木犀草苷	$Y=1.8544 \times 10^6 X - 1\,498.4$	6.55~327.50	0.999 5
大波斯菊苷	$Y=2.9682 \times 10^6 X + 1\,938.3$	1.37~68.50	0.999 7
木犀草素	$Y=1.4654 \times 10^6 X - 327.7$	0.32~16.00	0.999 4
芹菜素	$Y=2.7708 \times 10^6 X + 403.2$	0.95~47.50	0.999 7
齐墩果酸	$Y=9.8865 \times 10^5 X + 1\,303.2$	0.23~11.50	0.999 6
白桦脂酸	$Y=1.2699 \times 10^6 X - 1\,331.1$	0.49~24.50	0.999 1
β-谷甾醇	$Y=8.5414 \times 10^5 X + 676.2$	0.16~8.00	0.999 3
豆甾醇	$Y=1.5610 \times 10^6 X - 163.9$	0.54~27.00	0.999 4

2.5 精密度试验

精密吸取“2.1”项对照品溶液，自动进样系统连续进样 6 次，每次 10 μL，结果仪器精密度良好，芦丁、牡荆素、木犀草苷、大波斯菊苷、木犀草素、芹菜素、齐墩果酸、白桦脂酸、β-谷甾醇和豆甾醇峰面积的 RSD 值分别为 1.19%、1.22%、0.86%、1.13%、1.54%、1.08%、1.62%、1.43%、1.74%和 1.35%。

2.6 稳定性试验

取一份葎草（S1）供试品溶液，于制备后放置 2、4、8、12、16、24 h，自动进样系统进样 10 μL，结果供试品溶液 24 h 内稳定，芦丁、牡荆素、木犀草苷、大波斯菊苷、木犀草素、芹菜素、齐墩果酸、白桦脂酸、β-谷甾醇和豆甾醇峰面积的 RSD 值依次为 1.47%、1.58%、1.20%、1.35%、1.75%、1.49%、1.79%、1.64%、1.83%和 1.61%。

2.7 重复性试验

取同批次葎草（S1）样品，按“2.2”项方法制成供试品溶液，共平行制备 6 份，自动进样系统各进样 10 μL，结果芦丁、牡荆素、木犀草苷、大波斯菊苷、木犀草素、芹菜素、齐墩果酸、白桦脂酸、β-谷甾醇和豆甾醇平均质量分数分别为 0.174、0.138、1.726、0.359、0.073、0.212、0.054、0.097、0.032 和 0.114 mg/g，10 个成分质量分数

的 RSD 值依次为 1.52%、1.59%、1.43%、1.51%、1.82%、1.46%、1.98%、1.79%、1.91%和 1.65%，试验重复性良好。

2.8 加样回收率试验

取已知测定各成分含量的样品（S1）9 份，每份 0.5 g，用分析天平准确称定，按“2.7”项下各成分测定质量分数的 80%、100%和 120%比例加入混合对照品溶液（含芦丁 0.089 mg/mL、牡荆素 0.072 mg/mL、木犀草苷 0.859 mg/mL、大波斯菊苷 0.177 mg/mL、木犀草素 0.038 mg/mL、芹菜素 0.109 mg/mL、齐墩果酸 0.028 mg/mL、白桦脂酸 0.046 mg/mL、β-谷甾醇 0.017 mg/mL、豆甾醇 0.054 mg/mL），再按“2.2”项方法制得加样供试品溶液，每个比例制备 3 份。进样测定，结果芦丁、牡荆素、木犀草苷、大波斯菊苷、木犀草素、芹菜素、齐墩果酸、白桦脂酸、β-谷甾醇和豆甾醇平均加样回收率分别为 98.51%、97.86%、100.16%、99.03%、96.90%、100.05%、97.21%、99.22%、96.83%、98.08%，RSD 分别为 1.71%、1.66%、0.98%、1.26%、1.38%、1.21%、1.48%、0.96%、0.82%、1.47%。

2.9 相对校正因子（f）计算

自动进样系统进样“2.4”项 6 个混合对照品溶液各 10 μL，按照公式（1）计算 $f^{[17]}$

$$f = \rho_s \times A_i / \rho_i \times A_s \tag{1}$$

式中 ρ 和 A 依次代表相质量浓度和峰面积, 下标 i 和 s 代表内参物和其他待测成分, 以木犀草苷为内参物, 采用多点校正法计算芦丁、牡荆素、大波斯菊

苷、木犀草素的 f 值; 以白桦脂酸为内参物, 采用多点校正法计算齐墩果酸、 β -谷甾醇和豆甾醇的 f 值。取其平均值作为定量的 f 值^[18]。结果见表 3。

表 3 多点校正法计算的 f 值
Table 3 f value calculated by multipoint correction method

混合对照品溶液	f							
	芦丁	牡荆素	大波斯菊苷	木犀草素	芹菜素	齐墩果酸	β -谷甾醇	豆甾醇
1	0.775 9	0.884 4	0.629 3	1.259 4	0.685 2	1.262 4	1.471 8	0.817 2
2	0.789 0	0.903 3	0.635 7	1.268 5	0.678 9	1.288 1	1.483 9	0.828 9
3	0.800 7	0.908 1	0.629 4	1.261 1	0.674 8	1.278 2	1.439 3	0.814 3
4	0.786 0	0.908 5	0.629 3	1.262 5	0.678 3	1.304 9	1.491 8	0.819 9
5	0.818 0	0.923 1	0.615 9	1.272 3	0.656 6	1.236 8	1.464 4	0.799 4
6	0.798 6	0.912 6	0.625 7	1.264 9	0.670 7	1.287 5	1.486 7	0.814 8
平均值	0.794 7	0.906 7	0.627 6	1.264 8	0.674 1	1.276 3	1.473 0	0.815 7
RSD/%	1.82	1.41	1.04	0.39	1.45	1.86	1.31	1.18

2.10 f 耐用性考察

考察仪器及色谱柱的改变对 f 的影响。选用 HPLC 色谱仪 (UltiMate 3000 型和 Thermo Vanquish 型 HPLC 仪) 和色谱柱 (Venusil XBP C₁₈、SGE

protecol C₁₈ 和 Agilent Extend C₁₈) 进样检测, 计算各成分的 f , 自动进样系统进样 “2.1” 项下混合对照品溶液 10 μ L, 结果见表 4, 提示 f 耐用性良好 (RSD 均小于 2.0%)。

表 4 色谱系统改变时各成分的 f 值
Table 4 Effects of chromatographic system changes on f values of each component

仪器	色谱柱	f							
		芦丁	牡荆素	大波斯菊苷	木犀草素	芹菜素	齐墩果酸	β -谷甾醇	豆甾醇
UltiMate 3000	Venusil XBP C ₁₈	0.793 9	0.905 8	0.626 7	1.263 2	0.673 5	1.275 1	1.471 8	0.814 3
	SGE protecol C ₁₈	0.786 2	0.893 1	0.619 5	1.259 8	0.662 7	1.256 8	1.446 2	0.805 5
	Agilent Extend C ₁₈	0.774 1	0.883 2	0.614 3	1.257 3	0.655 4	1.235 3	1.507 5	0.798 2
Thermo Vanquish	Venusil XBP C ₁₈	0.817 2	0.921 9	0.634 5	1.270 8	0.684 1	1.300 2	1.490 1	0.827 6
	SGE protecol C ₁₈	0.793 4	0.910 3	0.630 1	1.263 7	0.671 3	1.296 1	1.465 2	0.815 2
	Agilent Extend C ₁₈	0.785 6	0.895 2	0.624 6	1.252 1	0.657 1	1.275 7	1.483 7	0.809 4
平均值		0.791 7	0.901 6	0.625 0	1.261 2	0.667 4	1.273 2	1.477 4	0.811 7
RSD/%		1.82	1.53	1.16	0.50	1.65	1.91	1.44	1.23

2.11 相对保留时间 (t_R) 值计算

分别记录 “2.10” 项不同色谱仪和色谱柱条件下 10 种成分色谱峰的保留时间, 采用 t_R 值法对色谱峰进行定位。以木犀草苷为内参物计算芦丁、牡荆素、大波斯菊苷、木犀草素和芹菜素与木犀草苷的 t_R 值, 以白桦脂酸为内参物计算齐墩果酸、 β -谷甾醇和豆甾醇与白桦脂酸的 t_R 值, 考察不同 HPLC 仪和色谱柱对 t_R 值的影响, 结果见表 5, 显示 RRT 值法可用于葎草中 10 个成分色谱峰的定位 (RSD

均小于 2.0%)。

2.12 样品检测

取不同批号 (S1~S18) 按 “2.2” 项方法处理的供试品溶液 (每批制备 3 份), 自动进样系统各进样 10 μ L, 利用 “2.4” 项标准曲线, 运用外标法计算样品中芦丁、牡荆素、木犀草苷、大波斯菊苷、木犀草素、芹菜素、齐墩果酸、白桦脂酸、 β -谷甾醇、豆甾醇的含量, 再利用 QAMS 法, 借助 “2.9” 项中的计算公式及 f 的均值, 以木犀草苷为参照物,

表 5 t_R 值计算结果
Table 5 Calculation results of t_R value

仪器	色谱柱	t_R							
		芦丁	牡荆素	大波斯菊苷	木犀草素	芹菜素	齐墩果酸	β -谷甾醇	豆甾醇
UltiMate 3000	Venusil XBP C ₁₈	0.632 9	0.863 0	1.221 9	1.312 3	1.520 5	0.925 2	1.070 5	1.190 4
	SGE protecol C ₁₈	0.638 4	0.869 7	1.237 4	1.326 5	1.529 4	0.936 4	1.073 6	1.198 2
	Agilent Extend C ₁₈	0.647 3	0.877 6	1.249 7	1.339 7	1.546 2	0.947 3	1.082 9	1.213 7
Thermo Vanquish	Venusil XBP C ₁₈	0.620 7	0.850 4	1.211 2	1.302 1	1.511 9	0.910 9	1.053 2	1.172 0
	SGE protecol C ₁₈	0.623 2	0.851 6	1.213 7	1.311 8	1.517 3	0.917 7	1.068 7	1.187 5
	Agilent Extend C ₁₈	0.637 1	0.871 9	1.243 5	1.332 5	1.538 2	0.946 1	1.079 3	1.192 5
平均值		0.633 3	0.864 0	1.229 6	1.320 8	1.527 3	0.930 6	1.071 4	1.192 4
RSD/%		1.57	1.29	1.32	1.09	0.86	1.62	0.97	1.14

计算芦丁、牡荆素、大波斯菊苷、木犀草素和芹菜素的含量；以白桦脂酸为参照物，计算齐墩果酸、 β -谷甾醇和豆甾醇的含量。再运用 SPSS26.0 统计软件中独立样本 T 检验方法对每一组分 2 种方法所得数据进行分析，以 P 值大小考察 2 种方法所得结果的差异程度，见表 6。结果显示 P 值均 >0.05 ，表明 2 种方法无明显差异。

2.13 浸出物、总灰分和酸不溶性灰分检测

参照《中国药典》2020 年版四部通则 2201 浸出物测定法、2302 灰分测定法进行浸出物、总灰分和酸不溶性灰分测定^[19]。结果见表 7。

2.14 主成分分析 (principal components analysis, PCA) 和正交偏最小二乘方判别分析 (orthogonal partial least squares-discriminant analysis, OPLS-DA)

以 18 批葎草中 10 个成分 QAMS 含量、浸出物、总灰分和酸不溶性灰分检测结果为变量，借助 SIMCA 14.1 软件对 18×13 矩阵数据进行 PCA 分析，结果 18 批葎草样品大致分成 3 组，同时所有检测数据无异常（所有数据点均在 95% 置信区间内）（图 2）。进一步运行 OPLS-DA 程序，结果模型参数均大于 0.5^[20]，表明建立的模型稳定可靠、预测能力好（图 3、4）。依据变量重要性投影（variable importance in projection, VIP），以 $VIP > 1$ 为标准^[21]查找引起 18 批样品分组的差异因子，结果木犀草苷、豆甾醇、大波斯菊苷和齐墩果酸的 VIP 值依次为 2.182 0、1.258 0、1.161 0 和 1.000 7，提示这 4 个组分可作为不同产地葎草的质量差异因子。

2.15 加权 TOPSIS 数据归一化处理

18 批葎草中芦丁、牡荆素、木犀草苷、大波斯

菊苷、木犀草素、芹菜素、齐墩果酸、白桦脂酸、 β -谷甾醇、豆甾醇、浸出物、总灰分和酸不溶性灰分检测结果纲量不一致，需对原始数据进行规格化处理^[22]。10 种待测成分和浸出物属于越大越优型指标，根据公式（2）进行归格化；总灰分和酸不溶性灰分属于越小越优型指标，根据公式（3）进行归格化，处理结果见表 8。

$$Z_{bc}^{+} = [X_{bc} - \min(x_c)] / [\max(x_c) - \min(x_c)] \quad (2)$$

$$Z_{bc}^{-} = [\max(x_c) - X_{bc}] / [\max(x_c) - \min(x_c)] \quad (3)$$

2.16 加权 TOPSIS 加权决策矩阵和最优、最差向量计算

以 OPLS-DA 中芦丁、牡荆素、木犀草苷、大波斯菊苷、木犀草素、芹菜素、齐墩果酸、白桦脂酸、 β -谷甾醇、豆甾醇、浸出物、总灰分和酸不溶性灰分的 VIP 值（0.726 6、0.796 7、2.182 0、1.161 0、0.570 0、0.851 5、1.000 7、0.786 7、0.492 4、1.258 0、0.742 6、0.797 3、0.213 2）为权重，将归格化的数据与各成分权重相乘，得加权决策矩阵（表 9）。以表 9 中每列的最大值为各评价指标的最优向量（ Z_c^{+} ），最小值为各评价指标的最差向量（ Z_c^{-} ）。

2.17 加权 TOPSIS 质量优劣排序

在加权 TOPSIS 评价应用中，通常以相对贴近度（ J_b ）为指标，其中 $0 < J_b < 1$ ， J_b 值越大，被评价样品质量越优^[23-24]。按最优向量欧氏距离（ D_b^{+} ）、最差向量欧氏距离（ D_b^{-} ）、 J_b 计算公式（4）~（6）分别计算 18 批葎草样品的 D_b^{+} 、 D_b^{-} 和 J_b 值，并根据 J_b 值的大小对样品质量进行排序（表 10）。结果安徽和江苏产地葎草药材的 J_b 值高于其他产地，即安徽和江苏产地的葎草药材的整体质量较佳。

表 6 不同产地葎草 10 个成分含量测定结果 (n=3)

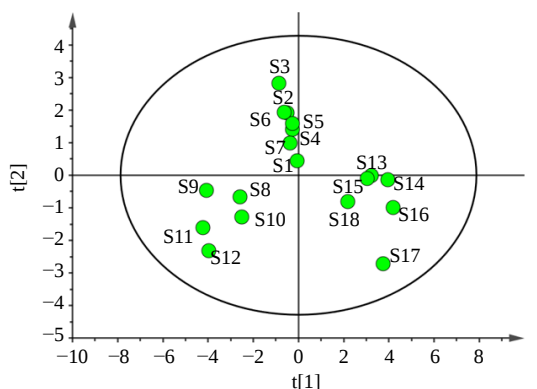
Table 6 Determination results of 10 components in *H. scandens* from different habitats (n = 3)

编号	方法	质量分数/(mg·g ⁻¹)									
		芦丁	牡荆素	木犀草苷	大波斯菊苷	木犀草素	芹菜素	齐墩果酸	白桦脂酸	β-谷甾醇	豆甾醇
S1	外标	0.174	0.138	1.726	0.359	0.073	0.212	0.054	0.097	0.032	0.114
	QAMS	0.169	0.135	—	0.349	0.071	0.206	0.055	—	0.031	0.117
S2	外标	0.158	0.160	1.580	0.402	0.078	0.229	0.068	0.103	0.038	0.138
	QAMS	0.154	0.156	—	0.393	0.076	0.223	0.070	—	0.039	0.135
S3	外标	0.176	0.116	1.586	0.547	0.074	0.217	0.079	0.107	0.035	0.151
	QAMS	0.173	0.113	—	0.533	0.072	0.211	0.077	—	0.034	0.147
S4	外标	0.165	0.154	1.755	0.484	0.079	0.252	0.064	0.129	0.036	0.136
	QAMS	0.161	0.150	—	0.471	0.081	0.245	0.063	—	0.035	0.133
S5	外标	0.169	0.159	1.695	0.457	0.085	0.235	0.069	0.115	0.036	0.147
	QAMS	0.165	0.162	—	0.446	0.083	0.229	0.068	—	0.037	0.144
S6	外标	0.176	0.132	1.578	0.481	0.088	0.242	0.067	0.122	0.034	0.143
	QAMS	0.173	0.129	—	0.492	0.086	0.236	0.066	—	0.033	0.147
S7	外标	0.149	0.142	1.746	0.523	0.074	0.256	0.058	0.132	0.032	0.130
	QAMS	0.153	0.138	—	0.511	0.076	0.263	0.057	—	0.031	0.127
S8	外标	0.134	0.125	1.481	0.366	0.089	0.158	0.054	0.082	0.028	0.098
	QAMS	0.137	0.122	—	0.356	0.087	0.154	0.053	—	0.027	0.096
S9	外标	0.147	0.119	1.410	0.579	0.103	0.193	0.044	0.075	0.042	0.086
	QAMS	0.143	0.116	—	0.566	0.101	0.188	0.045	—	0.041	0.084
S10	外标	0.151	0.122	1.475	0.469	0.096	0.215	0.049	0.078	0.029	0.081
	QAMS	0.147	0.119	—	0.482	0.098	0.210	0.048	—	0.030	0.082
S11	外标	0.142	0.109	1.365	0.589	0.109	0.191	0.035	0.062	0.029	0.088
	QAMS	0.139	0.112	—	0.577	0.106	0.193	0.034	—	0.028	0.090
S12	外标	0.136	0.120	1.337	0.520	0.106	0.185	0.033	0.068	0.026	0.071
	QAMS	0.133	0.117	—	0.506	0.103	0.180	0.032	—	0.027	0.069
S13	外标	0.218	0.219	2.069	0.351	0.060	0.269	0.052	0.168	0.027	0.131
	QAMS	0.213	0.214	—	0.341	0.061	0.264	0.051	—	0.026	0.128
S14	外标	0.229	0.204	2.162	0.284	0.065	0.337	0.062	0.174	0.025	0.096
	QAMS	0.223	0.199	—	0.292	0.064	0.329	0.061	—	0.024	0.098
S15	外标	0.215	0.212	2.204	0.432	0.058	0.272	0.044	0.161	0.022	0.139
	QAMS	0.209	0.207	—	0.421	0.059	0.278	0.043	—	0.023	0.137
S16	外标	0.214	0.227	2.247	0.324	0.056	0.327	0.052	0.181	0.022	0.116
	QAMS	0.219	0.222	—	0.316	0.055	0.318	0.053	—	0.021	0.113
S17	外标	0.233	0.196	2.115	0.277	0.089	0.291	0.042	0.155	0.021	0.097
	QAMS	0.228	0.191	—	0.284	0.087	0.296	0.041	—	0.020	0.095
S18	外标	0.218	0.179	1.879	0.380	0.091	0.295	0.048	0.139	0.020	0.121
	QAMS	0.213	0.183	—	0.371	0.089	0.287	0.047	—	0.019	0.124
P		0.798	0.838	—	0.839	0.850	0.824	0.894	—	0.837	0.910

表 7 葎草中浸出物、总灰分和酸不溶性灰分检测结果 (n=2)

Table 7 Detection results of extract, total ash and acid-insoluble ash in *H. scandens* (n = 2)

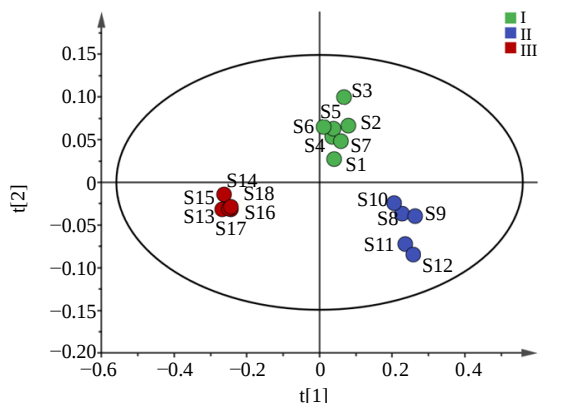
指标	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16	S17	S18
浸出物/%	22.3	21.7	20.4	20.9	19.7	22.1	21.6	18.2	17.2	20.1	16.3	15.5	25.2	27.1	24.9	23.2	25.7	24.5
总灰分/%	11.3	12.5	11.1	12.4	11.9	12.6	13.4	16.2	16.9	15.2	17.3	15.7	11.2	10.7	11.8	11.6	8.1	10.2
酸不溶性灰分/%	1.3	1.5	0.9	1.2	2.1	0.7	0.9	1.1	1.3	1.9	0.9	1.2	1.5	0.7	1.0	2.4	3.5	0.9



$R^2_X[1]=0.618$ $R^2_X[2]=0.182$ Ellipse: Hotelling's T^2 (95%)

图 2 PCA 得分图

Fig. 2 PCA score plot



$R^2_X[1]=0.776$ $R^2_X[2]=0.055$ Ellipse: Hotelling's T^2 (95%)

图 3 OPLS-DA 得分图

Fig. 3 OPLS-DA score plot

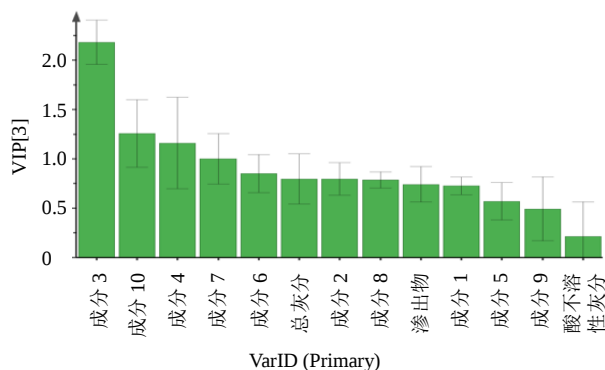


图 4 VIP 图

Fig. 4 VIP diagram

$$D_b^+ = \sqrt{\sum_{c=1}^{13} (Z_{bc} - Z_c^+)^2} \quad (4)$$

$$D_b^- = \sqrt{\sum_{c=1}^{13} (Z_{bc} - Z_c^-)^2} \quad (5)$$

$$J_b = D_b^- / (D_b^+ + D_b^-) \quad (6)$$

3 讨论

3.1 试样制备方法的选择

本实验提取供试品时,以芦丁、牡荆素、木犀草苷、大波斯菊苷、木犀草素、芹菜素、齐墩果酸、白桦脂酸、 β -谷甾醇、豆甾醇的综合提取率为指标,考察了常用溶剂:不同浓度乙醇和不同浓度甲醇(50%乙醇、70%乙醇、乙醇、50%甲醇、70%甲醇、甲醇)和水,提取方式选择加热回流和超声提取,处理时间:30、45、60 min。结果以 70%甲醇加热回流 60 min 时 10 个指标成分的色谱响应值最大,

表 8 归格化处理结果

Table 8 Results of normalization processing

编号	Z _{bc}												
	芦丁	牡荆素	木犀草苷	大波斯菊苷	木犀草素	芹菜素	齐墩果酸	白桦脂酸	β-谷甾醇	豆甾醇	浸出物	总灰分	酸不溶性灰分
S1	0.378 90.209 1	0.427 5	0.221 8	0.313 7	0.297 1	0.511 1	0.294 1	0.545 5	0.615 4	0.586 2	0.652 2	0.785 7	
S2	0.221 10.400 0	0.267 0	0.372 0	0.411 8	0.394 3	0.844 4	0.344 5	0.909 1	0.846 2	0.534 5	0.521 7	0.714 3	
S3	0.421 10.009 1	0.273 6	0.849 8	0.333 3	0.325 7	1.000 0	0.378 2	0.681 8	1.000 0	0.422 4	0.673 9	0.928 6	
S4	0.294 70.345 5	0.459 3	0.638 2	0.509 8	0.520 0	0.688 9	0.563 0	0.727 3	0.820 5	0.465 5	0.532 6	0.821 4	
S5	0.336 80.454 5	0.393 4	0.552 9	0.549 0	0.428 6	0.800 0	0.445 4	0.818 2	0.961 5	0.362 1	0.587 0	0.500 0	
S6	0.421 10.154 5	0.264 8	0.709 9	0.607 8	0.468 6	0.755 6	0.504 2	0.636 4	1.000 0	0.569 0	0.510 9	1.000 0	
S7	0.210 50.236 4	0.449 5	0.774 7	0.411 8	0.622 9	0.555 6	0.588 2	0.545 5	0.743 6	0.525 9	0.423 9	0.928 6	
S8	0.042 10.090 9	0.158 2	0.245 7	0.627 5	0.000 0	0.466 7	0.168 1	0.363 6	0.346 2	0.232 8	0.119 6	0.857 1	
S9	0.105 30.036 4	0.080 2	0.962 5	0.902 0	0.194 3	0.288 9	0.109 2	1.000 0	0.192 3	0.146 6	0.043 5	0.785 7	
S10	0.147 40.063 6	0.151 6	0.675 8	0.843 1	0.320 0	0.355 6	0.134 5	0.500 0	0.166 7	0.396 6	0.228 3	0.571 4	
S11	0.063 20.000 0	0.030 8	1.000 0	1.000 0	0.222 9	0.044 4	0.000 0	0.409 1	0.269 2	0.069 0	0.000 0	0.928 6	
S12	0.000 00.045 5	0.000 0	0.757 7	0.941 2	0.148 6	0.000 0	0.050 4	0.363 6	0.000 0	0.000 0	0.173 9	0.821 4	
S13	0.842 10.927 3	0.804 4	0.194 5	0.117 6	0.628 6	0.422 2	0.890 8	0.318 2	0.756 4	0.836 2	0.663 0	0.714 3	
S14	0.947 40.790 9	0.906 6	0.027 3	0.176 5	1.000 0	0.644 4	0.941 2	0.227 3	0.371 8	1.000 0	0.717 4	1.000 0	
S15	0.800 00.863 6	0.952 7	0.467 6	0.078 4	0.708 6	0.244 4	0.831 9	0.181 8	0.871 8	0.810 3	0.597 8	0.892 9	
S16	0.905 31.000 0	1.000 0	0.109 2	0.000 0	0.937 1	0.466 7	1.000 0	0.090 9	0.564 1	0.663 8	0.619 6	0.392 9	
S17	1.000 00.718 2	0.854 9	0.000 0	0.627 5	0.811 4	0.200 0	0.781 5	0.045 5	0.333 3	0.879 3	1.000 0	0.000 0	
S18	0.842 10.645 5	0.595 6	0.296 9	0.666 7	0.760 0	0.333 3	0.647 1	0.000 0	0.705 1	0.775 9	0.771 7	0.928 6	

表 9 加权决策矩阵结果
Table 9 Results of weighted decision matrix

编号	Z _c 加权值											
	芦丁	牡荆素	木犀草苷	大波斯菊苷	木犀草素	芹菜素	齐墩果酸	白桦脂酸	β-谷甾醇	豆甾醇	浸出物	总灰分
S1	0.275 30.166 6	0.932 8	0.257 5	0.178 8	0.253 0	0.511 5	0.231 4	0.268 6	0.774 20.435 30.520 0	0.167 5		
S2	0.160 70.318 7	0.582 6	0.431 9	0.234 7	0.335 7	0.845 0	0.271 0	0.447 6	1.064 50.396 90.416 0	0.152 3		
S3	0.306 00.007 2	0.597 0	0.986 6	0.190 0	0.277 3	1.000 7	0.297 5	0.335 7	1.258 00.313 70.537 3	0.198 0		
S4	0.214 10.275 3	1.002 2	0.741 0	0.290 6	0.442 8	0.689 4	0.442 9	0.358 1	1.032 20.345 70.424 6	0.175 1		
S5	0.244 70.362 1	0.858 4	0.641 9	0.312 9	0.365 0	0.800 6	0.350 4	0.402 9	1.209 60.268 90.468 0	0.106 6		
S6	0.306 00.123 1	0.577 8	0.824 2	0.346 4	0.399 0	0.756 1	0.396 7	0.313 4	1.258 00.422 50.407 3	0.213 2		
S7	0.152 90.188 3	0.980 8	0.899 4	0.234 7	0.530 4	0.556 0	0.462 7	0.268 6	0.935 40.390 50.338 0	0.198 0		
S8	0.030 60.072 4	0.345 2	0.285 3	0.357 7	0.000 0	0.467 0	0.132 2	0.179 0	0.435 50.172 90.095 4	0.182 7		
S9	0.076 50.029 0	0.175 0	1.117 5	0.514 1	0.165 4	0.289 1	0.085 9	0.492 4	0.241 90.108 90.034 7	0.167 5		
S10	0.107 10.050 7	0.330 8	0.784 6	0.480 6	0.272 5	0.355 8	0.105 8	0.246 2	0.209 70.294 50.1820	0.121 8		
S11	0.045 90.000 0	0.067 2	1.161 0	0.570 0	0.189 8	0.044 4	0.000 0	0.201 4	0.338 70.051 20.000 0	0.198 0		
S12	0.000 00.036 2	0.000 0	0.879 7	0.536 5	0.126 5	0.000 0	0.039 6	0.179 0	0.000 00.000 00.138 7	0.175 1		
S13	0.611 90.738 8	1.755 2	0.225 8	0.067 0	0.535 3	0.422 5	0.700 8	0.156 7	0.951 60.621 00.528 6	0.152 3		
S14	0.688 40.630 1	1.978 2	0.031 7	0.100 6	0.851 5	0.644 9	0.740 4	0.111 9	0.467 70.742 60.572 0	0.213 2		
S15	0.581 30.688 0	2.078 8	0.542 9	0.044 7	0.603 4	0.244 6	0.654 5	0.089 5	1.096 70.601 70.476 6	0.190 4		
S16	0.657 80.796 7	2.182 0	0.126 8	0.000 0	0.797 9	0.467 0	0.786 7	0.044 8	0.709 60.492 90.494 0	0.083 8		
S17	0.726 60.572 2	1.865 4	0.000 0	0.357 7	0.690 9	0.200 1	0.614 8	0.022 4	0.419 30.653 00.797 3	0.000 0		
S18	0.611 90.514 3	1.299 6	0.344 7	0.380 0	0.647 1	0.333 5	0.509 1	0.000 0	0.887 00.576 20.615 3	0.198 0		

表 10 葎草药材质量评价结果
Table 10 Quality evaluation results of *H. Scandens* medicinal materials

编号	D _b ⁺	D _b ⁻	J _b	排序	编号	D _b ⁺	D _b ⁻	J _b	排序
S1	2.119 9	1.615 7	0.432 5	13	S10	2.734 8	1.192 2	0.303 6	16
S2	2.148 3	1.815 5	0.458 0	12	S11	3.096 0	1.383 7	0.308 9	15
S3	2.081 5	2.179 0	0.511 4	10	S12	3.271 1	1.078 2	0.247 9	17
S4	1.711 7	2.037 4	0.543 4	7	S13	1.437 1	2.575 1	0.641 8	3
S5	1.824 9	2.064 7	0.530 8	8	S14	1.586 0	2.764 0	0.635 4	4
S6	2.017 6	2.049 6	0.503 9	11	S15	1.289 9	2.849 2	0.688 4	1
S7	1.793 9	1.985 6	0.525 4	9	S16	1.535 9	2.884 1	0.652 5	2
S8	2.868 1	0.929 7	0.244 8	18	S17	1.793 8	2.568 4	0.588 8	5
S9	2.920 8	1.418 0	0.326 8	14	S18	1.606 0	2.217 4	0.580 0	6

峰纯度高，杂质干扰最小。

3.2 检测波长的确定

葎草中芦丁、牡荆素、木犀草苷、大波斯菊苷、木犀草素和芹菜素属于黄酮类，齐墩果酸和白桦脂酸属于萜类，β-谷甾醇和豆甾醇属于甾体类，利用二极管阵列检测器（DAD）在波长 200~400 nm 紫外扫描对照品溶液，以 10 nm 为增量导出色谱图进行比对，综合 10 个成分最大吸收，结合相关文献采用不同波长对比考察，结果检测波长为 340 nm 时，芦丁、牡荆素、木犀草苷、大波斯菊苷、木犀草素和芹菜素有较大吸收；检测波长 210 nm 时，齐墩果酸、白桦脂酸、β-谷甾醇和豆甾醇各色谱峰信号响应值较高、色谱峰纯度高，基线较平。

3.3 检测结果分析

在建立的高效液相色谱条件下，本实验首先对线性关系、精密度、重复性、稳定性、准确度进行

了考察，试验结果均符合《中国药典》2020 年版要求；分别采用 QAMS 和外标法对比了 18 批葎草所含芦丁、牡荆素、木犀草苷、大波斯菊苷、木犀草素、芹菜素、齐墩果酸、白桦脂酸、β-谷甾醇、豆甾醇的含量差异，结果 2 种方法未见显著差异，但每一成分批次间存在一定的差异。又采用《中国药典》2020 年版四部方法检测了 18 批葎草的浸出物、总灰分和酸不溶性灰分，结果较稳定。利用化学计量学对 18 批葎草中 10 个成分 QAMS 法含量数据、浸出物、总灰分和酸不溶性灰分检测数据的分析中 PCA 得分图显示 18 批样品分为 3 组，各批次散点不够集中，但均在 95%置信区域内，提示所有检测数据无异常，但各批次间质量差异较大；相邻产区批次的葎草聚在一组，表明相邻产区的葎草质量较为相近；以 VIP>1 筛选对分组影响较大的成分，结果 VIP>1 的组分有木犀草苷、豆甾醇、大波斯

菊苷和齐墩果酸,表明这 4 个成分可作为其质量差异标志物;相对贴进度的大小可以反映样品质量的优劣,加权 TOPSIS 法结果显示 J_b 值在 0.244 8~0.688 4,表明各批次间葎草质量差异较大,其中 S15 批次葎草质量最优(J_b 值为 0.688 4),安徽和江苏产地葎草药材的 J_b 值高于其他产区,提示安徽和江苏产地的葎草药材的质量优于其他产区。

中药材化学成分复杂,药理作用机制尚不明确,本研究采用 QAMS 法技术对葎草中主要活性成分芦丁、牡荆素、木犀草苷、大波斯菊苷、木犀草素、芹菜素、齐墩果酸、白桦脂酸、 β -谷甾醇和豆甾醇含量进行了同步测定,同时对其浸出物、总灰分和酸不溶性灰分进行检测,方法可操作性强、结果准确可靠,可用于葎草多指标质量控制,后续将进一步扩大样品采集产地和采集批次,开展各检测指标与葎草产地土壤、海拔、气候等关键参数间相关性研究,为葎草的道地研究提供数据支持。化学计量学及加权逼近理想解排序法通过对多指标检测结果进行降维分析,挖掘了影响葎草质量差异的标志性成分,建立了产品质量优劣评价模型,建议将木犀草苷、豆甾醇、大波斯菊苷和齐墩果酸等产品质量差异标志物纳入其质量控制标准中,提升葎草质控标准,为后续开展活性成分药效物质基础研究提供参考和数据支持。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

- [1] 国家中医药管理局《中华本草》编委会. 中华本草-9 [M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1999: 514.
- [2] 孙婉萍, 谢明, 康廷国, 等. 葎草的本草考证 [J]. 中国药房, 2021, 32(5): 630-634.
- [3] 安徽省中药材标准 [S]. 2022: 162-163.
- [4] 何燕宁, 赵引利, 杨冬丽, 等. 河北不同产地葎草 HPLC 特征图谱对比研究 [J]. 中草药, 2016, 47(10): 1775-1779.
- [5] 孙彪, 敖运林, 王德智, 等. 葎草茎叶石油醚部位化学成分 [J]. 中国药科大学学报, 2022, 53(2): 178-184.
- [6] 贾静杰, 曹金凤, 李熙峰. 葎草茎的化学成分研究 [A] // 中国化学会第 30 届学术年会摘要集 [C]. 中国化学会: 有机化学. 大连, 2016: 134.
- [7] 王悦尚, 于美俊, 陈宇, 等. 葎草的化学成分、药理作用及其在动物生产中应用的研究进展 [J]. 中国饲料, 2024(1): 4-11.
- [8] 马奋刚, 张永萍. 中药葎草药理作用与化学成分的研究进展 [J]. 世界最新医学信息文摘, 2017, 17(14): 46-48.
- [9] 刘继强, 何素云, 肖勋立, 等. 葎草抗炎镇痛有效部位筛选及机制 [J]. 井冈山大学学报: 自然科学版, 2023, 44(2): 92-99.
- [10] 韩军艳. 葎草总黄酮的提取及体内外抑菌效果观察 [D]. 郑州: 河南农业大学, 2014.
- [11] 郭沛琳, 马逾英, 卢晓琳, 等. 葎草体外抗结核分枝杆菌的有效部位筛选研究 [J]. 中药与临床, 2011, 2(2): 43-44.
- [12] 周光姣, 汪盈盈, 白华, 等. 安徽地区葎草雌、雄株及其不同部位中 3 种功效物质含量测定 [J]. 甘肃中医药大学学报, 2021, 38(3): 27-33.
- [13] 何燕宁, 赵引利, 杨冬丽, 等. 不同产地及采收期的葎草中木犀草苷、芹菜素-7-O- β -D-葡萄糖苷、木犀草素定量比较研究 [J]. 中草药, 2016, 47(20): 3707-3711.
- [14] 石欢, 封燮, 常雅晴, 等. 基于多成分含量测定和化学计量学的不同基原白芷药材质量评价研究 [J]. 中草药, 2023, 54(11): 3676-3684.
- [15] 赵鑫, 李君君, 权文越, 等. 基于熵权 TOPSIS 评价半夏不同干燥方法对质量的影响 [J]. 中药材, 2022, 45(2): 327-330.
- [16] 黄小兰, 何旭峰, 周浓, 等. HPLC 法同时测定地参中 3 种三萜酸的含量 [J]. 食品工业科技, 2020, 41(11): 273-278.
- [17] 孙越鹏, 王梦雪, 宋丹, 等. 基于一测多评多组分定量质控联合主成分分析、正交偏最小二乘法-判别分析及熵权逼近理想解排序法的盐沙苑子饮片综合质量评价 [J]. 中草药, 2023, 54(24): 8077-8085.
- [18] 沈洁, 王琴, 熊维建, 等. HPLC-一测多评法测定参芪延肾颗粒中淫羊藿药材中的 6 个黄酮类成分的含量 [J]. 中国药房, 2019, 30(17): 2327-2331.
- [19] 中国药典 [S]. 四部. 2020: 232, 234.
- [20] 肖会敏, 杨旭, 黄新文, 等. 基于 HPLC 指纹图谱及多成分含量的化学模式识别法评价小血藤质量 [J]. 西北药学杂志, 2022, 37(5): 1-7.
- [21] 籍学伟, 陈备尧, 白妍, 等. 基于 HPLC 指纹图谱和多成分含量测定结合化学计量学的暖宫七味丸质量评价研究 [J]. 中草药, 2024, 55(2): 470-478.
- [22] 王子亮, 龚沙沙, 余淼, 等. 基于 HPLC 多组分定量联合化学计量学及灰色关联度分析的癍宁搽剂质量控制研究 [J]. 今日药学, 2023, 33(8): 600-608.
- [23] 裘慧, 闻飞英, 方建, 等. 玉蓝降糖胶囊 HPLC 多成分定量控制及化学计量学联合加权 TOPSIS 法综合质量评价 [J]. 中药材, 2024, 47(4): 945-951.
- [24] 马天翔, 顾志荣, 许爱霞, 等. 基于 OPLS 结合熵权 TOPSIS 法对不同产地锁阳的鉴别与综合质量评价 [J]. 中草药, 2020, 51(12): 3284-3291.

[责任编辑 时圣明]