

## 多指标成分定量结合化学模式识别法对不同产地宽叶荨麻的质量差异评价

卓玛草<sup>1,2</sup>, 贡保东知<sup>2</sup>, 环贡太<sup>1</sup>, 豆改杰<sup>3</sup>, 李先加<sup>1,4\*</sup>

1. 青海大学藏医学院, 青海 西宁 810003

2. 甘肃中医药大学藏医学院, 甘肃 兰州 730000

3. 青海民族大学科研处, 青海 西宁 810007

4. 藏药新药开发国家重点实验室, 青海 西宁 810003

**摘要:** **目的** 基于多指标定量结合化学模式识别技术、加权逼近理想解排序法 (technique for order preference by similarity to an ideal solution, TOPSIS) 与灰色关联度分析 (grey relational analysis, GRA) 法融合模型评价不同产地宽叶荨麻 *Urtica laetevirens* 质量。**方法** 收集主要产地 20 批宽叶荨麻, 采用 HPLC 法检测原儿茶酸、绿原酸、咖啡酸、阿魏酸、金丝桃苷、芦丁、槲皮素、芹菜素、山柰酚、木犀草素、胡萝卜苷、 $\beta$ -谷甾醇的含量, 并检查浸出物、总灰分和酸不溶性灰分。结合化学模式识别技术探讨不同产地宽叶荨麻之间的差异性, 筛选导致不同产地宽叶荨麻质量差异的主要标志性成分, 以各指标的 VIP 值为权重, 构建加权 TOPSIS 模型, 进而与 GRA 法融合, 对 20 批宽叶荨麻质量进行排序。**结果** 在建立的 HPLC 条件下, 原儿茶酸、绿原酸、咖啡酸、阿魏酸、金丝桃苷、芦丁、槲皮素、芹菜素、山柰酚、木犀草素、胡萝卜苷、 $\beta$ -谷甾醇分别在 0.21~10.50、1.15~57.50、0.28~14.00、0.46~23.00、3.35~167.50、4.47~223.50、1.70~85.00、0.14~7.00、0.37~18.50、0.79~39.50、0.65~32.50、1.31~65.50  $\mu\text{g/mL}$  线性关系良好, 建立的方法重复性良好, 仪器精密度高, 70% 甲醇超声提取的宽叶荨麻供试品溶液 24 h 内稳定性良好, 各成分平均加样回收率分别为 98.43%、97.91%、98.24%、99.06%、100.03%、99.68%、100.01%、97.81%、98.92%、98.23%、96.77%、98.34%, RSD 在 0.73%~1.86%。各成分质量分数分别为 0.066~0.129、0.270~0.577、0.093~0.184、0.164~0.281、1.440~2.465、1.911~3.204、0.331~1.188、0.036~0.106、0.078~0.209、0.187~0.456、0.196~0.418、0.383~0.613 mg/g, 浸出物、总灰分和酸不溶性灰分含量分别为 14.3%~31.5%、7.3%~16.2%、0.5%~3.4%, 显示批次间质量差异较大。化学模式识别技术将 20 批宽叶荨麻样品分为 3 组, 其中源于四川、甘肃和云南样品 S1~S8、源于广西、贵州和湖南样品 S9~S14、源于青海和西藏样品 S15~S20 各为一组, 呈明显的地域性, 区分各样品质量差异的标志性成分为芦丁、金丝桃苷、槲皮素、绿原酸、木犀草素和  $\beta$ -谷甾醇。加权 TOPSIS 与 GRA 法融合模型分析结果显示 20 批样品的综合相对贴近度在 0.285 4~0.673 6, 其中源于青海和西藏 S15~S20 样品的综合相对贴近度分别为 0.652 2、0.663 3、0.628 3、0.673 6、0.597 0、0.583 7, 高于其他批次, 质量相对较优。**结论** 建立的多指标定量方法稳定可靠, 可用于完善宽叶荨麻质量标准; 化学模式识别联合加权 TOPSIS 与 GRA 法融合模型全面科学地评价了不同产地宽叶荨麻的质量状况, 为宽叶荨麻质量分析和评价奠定基础。

**关键词:** 宽叶荨麻; 高效液相色谱法; 化学模式识别; 加权 TOPSIS; 灰色关联度分析法; 质量差异评价; 芦丁; 金丝桃苷; 槲皮素; 绿原酸; 木犀草素

中图分类号: R282.6 文献标志码: A 文章编号: 0253-2670(2026)11-4376-12

DOI: 10.7501/j.issn.0253-2670.2026.11.024

## Quality difference evaluation of *Urtica laetevirens* from different regions by multi-index quantitative combined with chemical pattern recognition technology

ZHUOMA Cao<sup>1,2</sup>, GONGBAO Dongzhi<sup>2</sup>, HUAN Gongtai<sup>1</sup>, DOU Gaijie<sup>3</sup>, LI Xianjia<sup>1,4</sup>

1. College of Tibetan Medical, Qinghai University, Xining 810003, China

2. College of Tibetan Medical, Gansu University of Chinese Medicine, Lanzhou 730000, China

3. Department of Scientific Research, Qinghai Minzu University, Xining 810007, China

4. State Key Laboratory of New Drug Development of Tibetan Medicine, Xining 810003, China

收稿日期: 2026-03-11

基金项目: 国家自然科学基金项目 (81560806); 青海省“昆仑英才·高端创新创业人才”计划 (K9923143)

作者简介: 卓玛草 (1989—), 女, 藏族, 甘肃碌曲人, 博士, 研究方向为藏医特色诊疗与优势病种防治研究。Tel: (0971)6143168

\*通信作者: 李先加 (1966—), 男, 藏族, 青海西宁市人, 硕士, 教授, 博士生导师, 研究方向为藏医史文献与核心理论研究。

Tel: (0971)6143168

**Abstract: Objective** To evaluate the quality of *Urtica laetevirens* from different producing areas based on multi-index quantification, combined with chemical pattern recognition technology, weighted TOPSIS and grey relational analysis(GRA) fusion model. **Methods** A total of 20 batches of *U. laetevirens* were collected from the main producing areas. The contents of protocatechuic acid, chlorogenic acid, caffeic acid, ferulic acid, hyperoside, rutin, quercetin, apigenin, kaempferol, luteolin, daucosterol,  $\beta$ -sitosterol were detected by HPLC, and the extract, total ash and acid-insoluble ash were examined. Combined with chemical pattern recognition technology, the differences between *U. laetevirens* from different producing areas were discussed, and the main landmark components leading to the quality differences of *U. laetevirens* from different producing areas were screened. The weighted TOPSIS model was constructed with the VIP value of each index as the weight, and then integrated with the GRA method to rank the quality of 20 batches of *U. laetevirens*. **Results** Under the established HPLC conditions. The linear ranges of protocatechuic acid, chlorogenic acid, caffeic acid, ferulic acid, hyperoside, rutin, quercetin, apigenin, kaempferol, luteolin, daucosterol,  $\beta$ -sitosterol showed a good linear relationship within the range of 0.21—10.50, 1.15—57.50, 0.28—14.00, 0.46—23.00, 3.35—167.50, 4.47—223.50, 1.70—85.00, 0.14—7.00, 0.37—18.50, 0.79—39.50, 0.65—32.50, 1.31—65.50  $\mu\text{g/mL}$ , respectively. The established method had good repeatability and high instrument precision. The stability of the sample solution of nettle extracted by 70% methanol ultrasonic extraction was good within 24 h. The average recovery rates of each component were 98.43%, 97.91%, 98.24%, 99.06%, 100.03%, 99.68%, 100.01%, 97.81%, 98.92%, 98.23%, 96.77% and 98.34%, respectively. The RSD was between 0.73% and 1.86%. The contents of various components were 0.66—0.129, 0.270—0.577, 0.093—0.184, 0.164—0.281, 1.440—2.465, 1.911—3.204, 0.331—1.188, 0.036—0.106, 0.078—0.209, 0.187—0.456, 0.196—0.418, 0.383—0.613 mg/g. The contents of extract, total ash and acid-insoluble ash were 14.3%—31.5%, 7.3%—16.2%, 0.5%—3.4%, respectively. It showed that the quality difference between batches was large. The 20 batches of *U. laetevirens* samples were divided into three groups by chemical pattern recognition technology, among them, S1—S8 from Sichuan, Gansu and Yunnan, S9-S14 from Guangxi, Guizhou and Hunan, and S15—S20 from Qinghai and Xizang were each group, showing obvious regional characteristics. The marker components that distinguish the quality differences of each sample were rutin, hyperoside, quercetin, chlorogenic acid, luteolin and  $\beta$ -sitosterol. The analysis results of weighted TOPSIS and GRA fusion model showed that the comprehensive relative closeness of 20 batches of samples was between 0.285 4 and 0.673 6. The comprehensive relative closeness of S15—S20 samples from Qinghai and Xizang were 0.652 2, 0.663 3, 0.628 3, 0.673 6, 0.597 0 and 0.583 7, respectively, which was higher than that of other batches, and the quality was relatively better. **Conclusion** The established multi-index quantitative method is stable and reliable, which can be used to perfect the quality standard of *U. laetevirens*. The chemical pattern recognition combined with weighted TOPSIS and GRA fusion model comprehensively and scientifically evaluated the quality of *U. laetevirens* from different producing areas, laying a foundation for the quality analysis and evaluation of *U. laetevirens*.

**Key words:** *Urtica laetevirens* Maxim.; HPLC; chemical pattern recognition; weighted TOPSIS; grey relational analysis; quality difference evaluation; rutin; hyperoside; quercetin; chlorogenic acid; luteolin

荨麻药材源于荨麻科植物宽叶荨麻 *Urtica laetevirens* Maxim.或裂叶荨麻 *U. fissa* Pritz.的干燥地上部分<sup>[1]</sup>。荨麻属植物在世界范围内分布广泛,全球约 50 种,中国产 23 种,主要分布于青海、甘肃、西藏、四川、云南等地,喜生于山坡、丘陵及山野路边,且易于栽培<sup>[2-4]</sup>。该属植物除用于治疗风湿关节炎外,还被应用于前列腺增生、前列腺炎、前列腺癌、牛皮癣、过敏性鼻炎、白血病、外伤出血、尿石症、糖尿病、贫血、男性脱发、湿疹等多种疾病的治疗,目前已申请近百项相关专利<sup>[5]</sup>。荨麻作为常用民族药与民间药,用药历史悠久,疗效显著。现代药理研究表明,其具有抗炎、镇痛、抗风湿、抗肿瘤、降血压及降血糖等多种药理作用<sup>[6-10]</sup>。

近年来,随着藏医药产业的快速发展,宽叶荨

麻作为常用藏药材,其资源需求逐年上升,四川、青海、西藏等地已逐步开展人工种植与规范化生产。然而,由于缺乏统一的质量标准,不同来源宽叶荨麻质量参差不齐,严重影响了其临床疗效的稳定性和用药安全性。因此,建立科学、系统的宽叶荨麻质量评价体系具有重要的现实意义。目前,宽叶荨麻的质量控制多以性状、显微鉴别为主,缺乏系统的含量测定项,现有研究多局限于 1~2 个成分的含量测定<sup>[11-15]</sup>,难以有效控制其内在质量,给荨麻的临床应用和质量控制带来了较大不确定性。

化学模式识别技术如聚类分析(hierarchical cluster analysis, HCA)、主成分分析(principal component analysis, PCA)、偏最小二乘法-判别分析(partial least squares-discriminant analysis, PLS-DA)已被广泛用于中药质量差异标志物的挖掘<sup>[16-17]</sup>。而多准

则决策模型如加权逼近理想解排序法 (technique for order preference by similarity to an ideal solution, TOPSIS) 与灰色关联度分析 (grey relational analysis, GRA), 能够综合考虑多个指标, 避免主观因素的干扰, 近年来在中药综合质量评价中展现出独特优势<sup>[18-21]</sup>。本研究收集宽叶荨麻主要产区的 20 批样品, 采用 HPLC 法同时测定原儿茶酸、绿原酸、咖啡酸、阿魏酸、金丝桃苷、芦丁、槲皮素、芹菜素、山柰酚、木犀草素、胡萝卜苷、 $\beta$ -谷甾醇 12 种成分的含量, 并检查浸出物、总灰分和酸不溶性灰分。在此基础上, 引入化学模式识别技术筛选导致不同产地宽叶荨麻质量差异的关键标志性成分, 进而构建加权 TOPSIS 与 GRA 的融合模型对样品质量进行综合排序, 以期完善宽叶荨麻的质量标准提供科学依据, 也为基于多指标决策的中药质量评价方法提供参考。

## 1 仪器与试药

### 1.1 仪器

BT25S 型电子天平 (德国 Sartorius 公司); FRQ-1010T 型超声波清洗器 (杭州法兰特超声波科技有限公司); Waters e2695 型 HPLC 仪 (美国 Waters

公司)。

### 1.2 试药与试剂

对照品阿魏酸 (批号 110773-202316, 质量分数 99.3%)、芹菜素 (批号 111901-202205, 质量分数 98.4%)、槲皮素 (批号 100081-202411, 质量分数 98.7%)、原儿茶酸 (批号 110809-202207, 质量分数 97.5%)、绿原酸 (批号 110753-202520, 质量分数 97.9%)、山柰酚 (批号 110861-202515, 质量分数 96.1%)、木犀草素 (批号 111520-202107, 质量分数 96.3%)、金丝桃苷 (批号 111521-202310, 质量分数 94.7%)、芦丁 (批号 100080-202513, 质量分数 92.8%) 和  $\beta$ -谷甾醇 (批号 110851-201909, 质量分数 92.7%) 购自中国食品药品检定研究院; 咖啡酸 (批号 T2807-246640, 质量分数 98.9%) 和胡萝卜苷 (批号 T3871-131246, 质量分数 99.6%) 购自上海陶术生物科技有限公司; 色谱纯乙腈和磷酸购于瑞典 Oceanpak 公司。荨麻药材经鉴定为荨麻科植物宽叶荨麻 *U. laetevirens* Maxim. 的地上部分, 去根, 洗净, 晾干, 具体样品地信息见表 1。

表 1 宽叶荨麻来源信息

Table 1 Source information of *U. laetevirens*

编号	采集地	采集时间	编号	采集地	采集时间
S1	四川普格	2025-08	S11	贵州松桃	2025-08
S2	四川苍溪	2025-08	S12	贵州修文	2025-08
S3	四川松潘	2025-08	S13	湖南桑植	2025-09
S4	甘肃康县	2025-09	S14	湖南武冈	2025-09
S5	甘肃徽县	2025-09	S15	青海囊谦	2025-09
S6	云南勐腊	2025-08	S16	青海天峻	2025-09
S7	云南镇雄	2025-08	S17	青海班玛	2025-09
S8	云南双柏	2025-08	S18	西藏普兰	2025-08
S9	广西隆林	2025-09	S19	西藏错那	2025-08
S10	广西德保	2025-09	S20	西藏墨竹工卡	2025-08

## 2 方法与结果

### 2.1 溶液的制备

**2.1.1 供试品溶液的制备** 称取宽叶荨麻粉末 0.5 g, 精密称定, 加 70% 甲醇 25 mL, 称量, 超声处理 40 min, 冷却, 再称定质量, 补足减失质量, 滤过, 续滤液为荨麻供试品溶液。

**2.1.2 混合对照品溶液的制备** 取各对照品, 精密称定, 用 70% 甲醇制成含原儿茶酸 0.042 mg/mL、绿原酸 0.230 mg/mL、咖啡酸 0.056 mg/mL、阿魏酸

0.092 mg/mL、金丝桃苷 0.670 mg/mL、芦丁 0.894 mg/mL、槲皮素 0.340 mg/mL、芹菜素 0.028 mg/mL、山柰酚 0.074 mg/mL、木犀草素 0.158 mg/mL、胡萝卜苷 0.130 mg/mL、 $\beta$ -谷甾醇 0.262 mg/mL 的混合对照品贮备液。精密吸取贮备液适量, 用 70% 甲醇稀释 20 倍, 摇匀, 即得含原儿茶酸 2.10  $\mu$ g/mL、绿原酸 11.50  $\mu$ g/mL、咖啡酸 2.80  $\mu$ g/mL、阿魏酸 4.60  $\mu$ g/mL、金丝桃苷 33.50  $\mu$ g/mL、芦丁 44.70  $\mu$ g/mL、槲皮素 17.00  $\mu$ g/mL、芹菜素 1.40  $\mu$ g/mL、山柰酚

3.70 μg/mL、木犀草素 7.90 μg/mL、胡萝卜苷 6.50 μg/mL、β-谷甾醇 13.10 μg/mL 的混合对照品溶液。

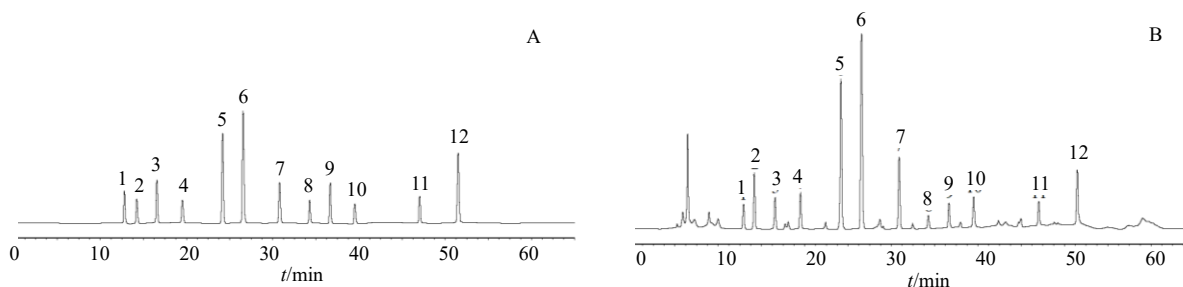
### 2.2 色谱条件

采用 J'Sphere L80 (250 mm×4.6 mm, 5 μm) 色谱柱; 检测波长 323 nm (原儿茶酸、绿原酸、咖啡酸和阿魏酸)、360 nm (金丝桃苷、芦丁、槲皮素、芹菜素、山柰酚和木犀草素)、210 nm (胡萝卜苷和 β-谷甾醇); 进样量 10 μL, 柱温 30 °C, 体积分

量 1.0 mL/min; 乙腈 (A) -0.2%磷酸水溶液 (B) 为流动相, 梯度洗脱: 0~9 min, 8% A; 9~23 min, 8%~16% A; 23~42 min, 16%~32% A; 42~58 min, 32%~76% A; 58~65 min, 76%~8% A。

### 2.3 系统适用性试验

取混合对照品溶液和供试品溶液, 在“2.2”项条件下进样。结果 12 个待测成分色谱峰峰形对称性良好, 理论塔板数均大于 5 500, 分离度>1.5。见图 1。



1-儿茶酸; 2-绿原酸; 3-咖啡酸; 4-阿魏酸; 5-金丝桃苷; 6-芦丁; 7-槲皮素; 8-芹菜素; 9-山柰酚; 10-木犀草素; 11-胡萝卜苷; 12-β-谷甾醇。  
1-protocatechuic acid; 2-chlorogenic acid; 3-caffeic acid; 4-ferulic acid; 5-hyperoside; 6-rutin; 7-quercetin; 8-apigenin; 9-kaempferol; 10-luteolin; 11-daucosterol; 12-β-sitosterol.

图 1 混合对照品 (A) 和供试品溶液 (B) HPLC 色谱图

Fig. 1 HPLC chromatograms of mixed reference substance (A) and test sample solution (B)

### 2.4 线性关系考察

精密吸取混合对照品贮备液, 使用 70% 甲醇稀释 4、10、20、40、100、200 倍, 得到原儿茶酸、绿原酸、咖啡酸、阿魏酸、金丝桃苷、芦丁、槲皮素、芹菜素、山柰酚、木犀草素、胡萝卜苷、β-谷甾醇系列混合对照品溶液, 按“2.2”项色谱条件进样, 以质量浓度为横坐标 (X), 相应的峰面积为纵

坐标 (Y), 绘制标准曲线, 得到 12 个成分的线性关系, 结果 12 个成分在各检测浓度范围内均呈良好的线性关系, 结果见表 2。

### 2.5 精密度试验

取宽叶荨麻 (S1) 样品, 按照“2.1.1”项方法制备供试品溶液 1 份, 重复进样 6 次, 记录原儿茶酸、绿原酸、咖啡酸、阿魏酸、金丝桃苷、芦丁、

表 2 12 个成分的线性方程、相关系数和线性范围

Table 2 Linear equations, correlation coefficients and linear ranges of 12 components

成分	回归方程	线性范围/(μg·mL <sup>-1</sup> )	R <sup>2</sup>
原儿茶酸	$Y=7.9547 \times 10^5 X+643.2$	0.21~10.50	0.999 2
绿原酸	$Y=3.0286 \times 10^6 X-1185.6$	1.15~57.50	0.999 3
咖啡酸	$Y=9.1302 \times 10^5 X+493.5$	0.28~14.00	0.999 7
阿魏酸	$Y=1.7966 \times 10^6 X+1174.8$	0.46~23.00	0.999 4
金丝桃苷	$Y=4.2311 \times 10^6 X+603.2$	3.35~167.50	0.999 1
芦丁	$Y=4.8654 \times 10^6 X+1941.7$	4.47~223.50	0.999 8
槲皮素	$Y=3.7726 \times 10^6 X+2089.6$	1.70~85.00	0.999 4
芹菜素	$Y=4.1679 \times 10^5 X+647.1$	0.14~7.00	0.999 9
山柰酚	$Y=1.3136 \times 10^6 X+852.9$	0.37~18.50	0.999 5
木犀草素	$Y=2.5674 \times 10^6 X+473.5$	0.79~39.50	0.999 3
胡萝卜苷	$Y=2.0891 \times 10^6 X-1021.4$	0.65~32.50	0.999 6
β-谷甾醇	$Y=3.3205 \times 10^6 X-1646.7$	1.31~65.50	0.999 2

槲皮素、芹菜素、山柰酚、木犀草素、胡萝卜苷、 $\beta$ -谷甾醇峰面积并计算 RSD。各成分峰面积的 RSD 分别为 1.60%、1.21%、1.62%、1.43%、1.04%、0.83%、1.19%、1.76%、1.54%、1.28%、1.44%、1.26%，结果表明仪器精密良好。

## 2.6 稳定性试验

取荨麻 (S1) 样品，按照“2.1.1”项方法制备供试品溶液 1 份，室温放置，于制备后 0、2、4、8、12、16、24 h 进样，记录原儿茶酸、绿原酸、咖啡酸、阿魏酸、金丝桃苷、芦丁、槲皮素、芹菜素、山柰酚、木犀草素、胡萝卜苷、 $\beta$ -谷甾醇峰面积并计算 RSD。各成分峰面积的 RSD 分别为 1.91%、1.31%、1.72%、1.58%、1.16%、1.05%、1.22%、1.97%、1.74%、1.66%、1.78%、1.34%，结果表明在 24 h 内，荨麻供试品溶液稳定性良好。

## 2.7 重复性试验

取荨麻 (S1)，分别按“2.1.1”项制成供试品溶液 6 份，进样，记录原儿茶酸、绿原酸、咖啡酸、阿魏酸、金丝桃苷、芦丁、槲皮素、芹菜素、山柰酚、木犀草素、胡萝卜苷、 $\beta$ -谷甾醇峰面积并计算各成分质量分数及其 RSD。各成分质量分数的 RSD 分别为 1.85%、1.43%、1.81%、1.62%、1.28%、1.12%、1.30%、1.92%、1.74%、1.55%、1.59%、1.37%，结

果表明所建方法重复性良好。

## 2.8 加样回收率试验

取已测各成分含量的荨麻 (S1) 粉末 0.25 g，精密称定，共 9 份，加入混合对照品溶液 (含原儿茶酸 0.021 mg/mL、绿原酸 0.117 mg/mL、咖啡酸 0.029 mg/mL、阿魏酸 0.051 mg/mL、金丝桃苷 0.457 mg/mL、芦丁 0.604 mg/mL、槲皮素 0.176 mg/mL、芹菜素 0.014 mg/mL、山柰酚 0.039 mg/mL、木犀草素 0.083 mg/mL、胡萝卜苷 0.067 mg/mL 和  $\beta$ -谷甾醇 0.129 mg/mL) 0.8、1.0、1.2 mL，按“2.1.1”项方法制得供试品溶液，进样，计算 12 种成分的平均加样回收率依次为 98.43%、97.91%、98.24%、99.06%、100.03%、99.68%、100.01%、97.81%、98.92%、98.23%、96.77%、98.34%，RSD 依次为 1.39%、1.03%、1.36%、0.93%、0.85%、0.96%、0.73%、1.03%、1.25%、1.41%、1.08%、1.86%，RSD 均小于 2.0%，说明该方法准确度良好。

## 2.9 12 个化学成分的含量测定

取 20 批荨麻 (S1~S20) 样品，分别制成供试品溶液，按照“2.2”项下色谱条件检测，记录数据，计算原儿茶酸、绿原酸、咖啡酸、阿魏酸、金丝桃苷、芦丁、槲皮素、芹菜素、山柰酚、木犀草素、胡萝卜苷、 $\beta$ -谷甾醇等成分含量，结果见表 3。

表 3 20 批荨麻中 12 个成分的质量分数 ( $n=3$ )

Table 3 Mass fraction of 12 components in 20 batches of *U. laetevirens* ( $n=3$ )

编号	质量分数/(mg·g <sup>-1</sup> )											
	原儿茶酸	绿原酸	咖啡酸	阿魏酸	金丝桃苷	芦丁	槲皮素	芹菜素	山柰酚	木犀草素	胡萝卜苷	$\beta$ -谷甾醇
S1	0.086	0.459	0.112	0.208	1.814	2.451	0.713	0.057	0.149	0.326	0.262	0.507
S2	0.092	0.529	0.130	0.189	2.008	2.256	0.829	0.061	0.141	0.418	0.284	0.608
S3	0.087	0.577	0.144	0.213	1.903	2.548	0.537	0.063	0.096	0.456	0.268	0.613
S4	0.098	0.522	0.124	0.199	1.756	2.504	0.676	0.076	0.116	0.376	0.312	0.504
S5	0.101	0.564	0.134	0.203	1.855	2.419	0.790	0.068	0.133	0.402	0.291	0.558
S6	0.104	0.576	0.140	0.214	1.702	2.679	0.636	0.072	0.113	0.391	0.300	0.590
S7	0.092	0.498	0.115	0.188	1.584	2.491	0.577	0.078	0.103	0.340	0.334	0.527
S8	0.095	0.532	0.121	0.207	1.806	2.471	0.670	0.064	0.125	0.384	0.297	0.561
S9	0.124	0.327	0.101	0.169	1.754	2.115	0.692	0.048	0.112	0.313	0.196	0.467
S10	0.122	0.328	0.096	0.177	1.543	2.014	0.386	0.044	0.085	0.265	0.238	0.531
S11	0.119	0.323	0.099	0.181	1.584	2.107	0.412	0.046	0.098	0.287	0.268	0.383
S12	0.129	0.354	0.093	0.171	1.440	1.951	0.371	0.036	0.078	0.204	0.246	0.494
S13	0.125	0.270	0.097	0.164	1.496	1.911	0.331	0.040	0.089	0.187	0.228	0.483
S14	0.123	0.319	0.095	0.172	1.566	2.023	0.432	0.043	0.091	0.259	0.231	0.474
S15	0.073	0.503	0.178	0.263	2.324	2.951	1.091	0.098	0.168	0.301	0.336	0.472
S16	0.077	0.386	0.165	0.275	2.465	3.082	1.062	0.102	0.176	0.364	0.418	0.460
S17	0.071	0.538	0.172	0.258	2.222	3.142	1.014	0.095	0.184	0.254	0.354	0.444
S18	0.066	0.445	0.184	0.281	2.416	3.204	1.150	0.106	0.209	0.314	0.405	0.428
S19	0.081	0.295	0.158	0.269	2.363	3.016	1.188	0.091	0.193	0.245	0.376	0.412
S20	0.084	0.487	0.152	0.250	2.271	2.681	0.971	0.081	0.159	0.277	0.365	0.401

测定结果显示, 20 批宽叶荨麻样品中原儿茶酸、绿原酸、咖啡酸、阿魏酸、金丝桃苷、芦丁、槲皮素、芹菜素、山柰酚、木犀草素、胡萝卜苷、 $\beta$ -谷甾醇含量分别为 0.066~0.129、0.270~0.577、0.093~0.184、0.164~0.281、1.440~2.465、1.911~3.204、0.331~1.188、0.036~0.106、0.078~0.209、0.187~0.456、0.196~0.418、0.383~0.613 mg/g。各批次间成分含量具有差异, 如 S19 样品中槲皮素质量分数 (1.188 mg/g) 是 S13 样品 (0.331 mg/g) 的 3.6 倍。这一结果提示, 不同产地来源、不同生长环境可能是导致荨麻内在质量差异的重要因素。

### 2.10 检查

**2.10.1 浸出物<sup>[22]</sup>** 分别取 20 批宽叶荨麻 (S1~S20) 约 2 g, 精密称定, 置锥形瓶中, 精密加水 50 mL, 密塞, 称定质量, 静置 1 h, 加热 (沸腾) 回流 1 h。放冷称量, 用水补充质量, 摇匀, 滤过, 精

密度取滤液 25 mL, 置已恒定质量的蒸发皿中, 蒸干, 105 °C 干燥 3 h, 置干燥器中冷却 30 min, 迅速称定质量, 以干燥品计算浸出物的量。结果见表 4。

**2.10.2 总灰分和酸不溶性灰分<sup>[22]</sup>** 分别取 20 批宽叶荨麻 (S1~S20) 约 5 g, 置炽灼至恒定质量的坩埚中, 称量, 炽热至完全炭化时, 升温至 550 °C, 使完全灰化并至恒定质量。计算总灰分的含量。取灰分, 在坩埚中加入 10 mL 稀盐酸, 用表面皿覆盖, 水浴上加热 10 min, 用 5 mL 热水冲洗, 洗液并入坩埚中, 用无灰滤纸滤过, 坩埚内的残渣用水洗于滤纸上, 洗涤至洗液不显氯化物反应。滤渣连同滤纸移置同一坩埚中, 干燥, 炽灼至恒定质量。根据残渣质量, 计算酸不溶性灰分的含量。结果见表 4。浸出物、总灰分、酸不溶性灰分含量分别为 14.3%~31.5%、7.3%~16.2%、0.5%~3.4%, 浸出物含量达 14.3%~31.5%。

表 4 宽叶荨麻中浸出物、总灰分和酸不溶性灰分检测结果 (n=3)

Table 4 Extractive, total ash and acid-insoluble ash in *U. laetevirens* (n=3)

编号	浸出物/%	总灰分/%	酸不溶性灰分/%	编号	浸出物/%	总灰分/%	酸不溶性灰分/%
S1	22.9	11.3	1.5	S11	14.3	13.8	1.9
S2	21.8	11.9	1.1	S12	14.9	14.3	2.2
S3	21.3	10.5	0.9	S13	15.2	13.5	3.4
S4	23.6	12.4	1.6	S14	15.6	14.7	2.5
S5	22.5	12.1	1.4	S15	31.5	7.9	0.9
S6	22.1	11.4	1.0	S16	30.8	8.1	1.1
S7	21.4	10.7	1.7	S17	29.6	7.3	0.5
S8	22.7	11.5	1.4	S18	31.2	8.9	0.8
S9	15.6	16.2	2.1	S19	30.4	9.4	1.2
S10	16.1	15.4	2.6	S20	30.7	9.2	0.9

### 2.11 化学模式识别

**2.11.1 HCA** 将表 3、4 数据合并, 以批次为行, 指标为列组成一个数据集, 采用 SPSS 26.0 软件中瓦尔德法和平方欧氏距离作为聚类方法及测量区间, 进行 HCA, 结果见图 2。当分类距离为 10 时, 20 批宽叶荨麻样品聚类 3 类, 源于广西、贵州和湖南 S9~S14、源于四川、甘肃和云南 S1~S8、源于青海和西藏 S15~S20 各为一组, 呈明显的地域性。

**2.11.2 PCA** 利用 SPSS 26.0 软件对 20 批样品进行 PCA, 结果 KMO=0.690, 大于 0.6, 同时 Bartlett 球形检验的显著性小于 0.05, 表明多指标定量测量数据适合进行 PCA。PCA 提取出 2 个主成分 (特征值 > 1, 同时满足累积方差贡献率 > 85.0%), 累积方差贡献率为 90.587%, 原儿茶酸、咖啡酸、阿魏酸、金丝桃苷、芦丁、槲皮素、芹菜素、山柰

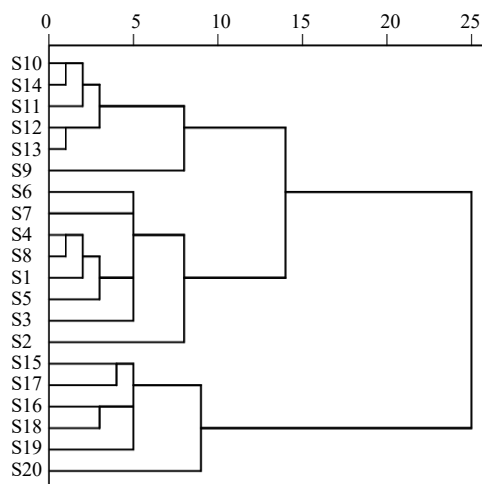


图 2 20 批宽叶荨麻样品的 HCA

Fig. 2 HCA of 20 batches of *U. laetevirens*

酚、胡萝卜苷、β-谷甾醇、浸出物、总灰分和酸不溶性灰分在主成分1上载荷值的绝对值较高，对主成分1贡献率较大；绿原酸和木犀草素在主成分2上载荷值较高，对主成分2贡献率较大（表5、6）。采用SIMCA 14.1软件，对20批宽叶荨麻中各指标含量数据构建PCA得分图（图3），20批样品被分为3类，与HCA结果一致。

表5 各指标的特征值和累积方差贡献率

Table 5 Characteristic values and variance contribution rates of each index

主成分	特征值	方差贡献率/%	累积方差贡献率/%
1	11.059	73.725	73.725
2	2.529	16.862	90.587
3	0.395	2.635	93.222
4	0.269	1.793	95.015
5	0.252	1.678	96.693
6	0.129	0.862	97.555
7	0.113	0.756	98.311
8	0.080	0.534	98.845
9	0.075	0.502	99.348
10	0.037	0.243	99.591
11	0.032	0.214	99.805
12	0.021	0.138	99.943
13	0.006	0.037	99.980
14	0.002	0.012	99.992
15	0.001	0.008	100.000

表6 主成分载荷

Table 6 Loadings in principal components

指标	主成分1	主成分2
原儿茶酸	-0.959	-0.128
绿原酸	0.448	0.824
咖啡酸	0.970	0.030
阿魏酸	0.968	-0.170
金丝桃苷	0.943	-0.154
芦丁	0.976	-0.021
槲皮素	0.939	-0.142
芹菜素	0.968	-0.023
山柰酚	0.923	-0.229
木犀草素	0.249	0.879
胡萝卜苷	0.914	-0.128
β-谷甾醇	-0.234	0.890
浸出物	0.980	-0.054
总灰分	-0.939	-0.035
酸不溶性灰分	-0.869	-0.349

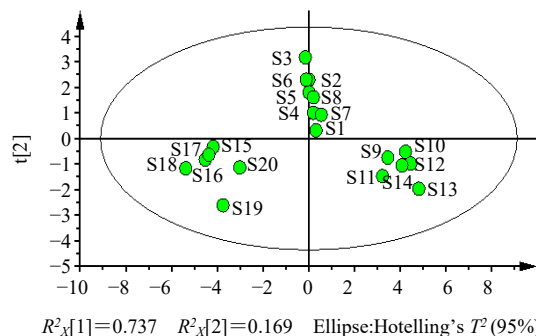


图3 20批宽叶荨麻的PCA得分图

Fig. 3 PCA score chart for 20 batches of *U. laetevirens*

2.11.3 OPLS-DA 在PCA提取2个主成分的基础上，构建20批不同产地宽叶荨麻中15个评价指标的OPLS-DA模型（图4），其中模型参数 $R^2_X$ 、 $R^2_Y$ 、 $Q^2$ 分别为0.922、0.882和0.850，均 $>0.5$ ，表明建立的OPLS-DA模型稳定可行，可用于不同产地宽叶荨麻质量差异标志物的分析<sup>[23]</sup>。利用变量投影重要性指标（variable importance projection, VIP）筛选质量差异标记物，结果见图5，以 $VIP > 1$ 为标准<sup>[17, 24]</sup>，结果显示芦丁、金丝桃苷、槲皮素、绿原酸、木犀草素和β-谷甾醇的 $VIP > 1$ ，VIP值依次为1.8100、1.6375、1.4735、1.4161、1.1474和1.0890，这6个成分是不同的产地宽叶荨麻质量差异贡献较大的标志性成分，可以用来区分不同产地宽叶荨麻的质量差异。

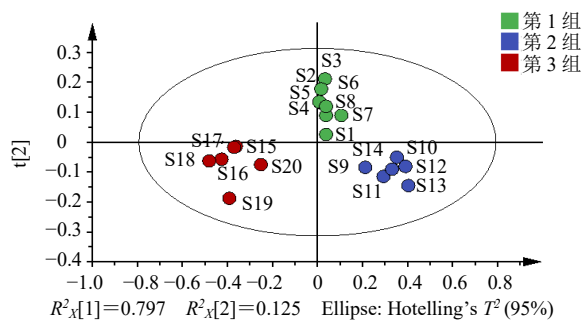
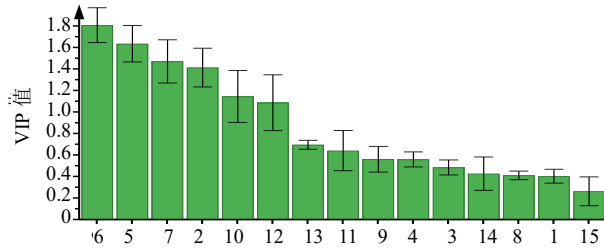


图4 20批宽叶荨麻的OPLS-DA得分图

Fig. 4 OPLS-DA score plot of 20 batches of *U. laetevirens*

## 2.12 加权TOPSIS-GRA法融合评价模型

2.12.1 加权TOPSIS分析模型 以20批宽叶荨麻中的15个指标含量数据为变量，参考李佳佳等<sup>[24]</sup>方法对原始数据进行标准化处理。标准化后数值结果见表7。将表7数据与“2.11.3”项中各指标的VIP值相乘得加权矩阵 $(Z_{bc})$ ，以矩阵中每一指标的最大值为最优方案 $(Z_c^+)$ ，最小值为最劣方案 $(Z_c^-)$ ，根据公式（1）（2）分别计算



1-原儿茶酸; 2-绿原酸; 3-咖啡酸; 4-阿魏酸; 5-金丝桃苷; 6-芦丁; 7-槲皮素; 8-芹菜素; 9-山柰酚; 10-木犀草素; 11-胡萝卜苷; 12-β-谷甾醇; 13-浸出物; 14-总灰分; 15-酸不溶性灰分。  
1-protocatechuic acid; 2-chlorogenic acid; 3-caffeic acid; 4-ferulic acid; 5-hyperoside; 6-rutoside; 7-quercetin; 8-apigenin; 9-kaempferol; 10-luteolin; 11-daucosterol; 12-β-sitosterol; 13.extract; 14-total ash content; 15-acid-insoluble ash.

图5 20批宽叶荨麻样品的OPLS-DA的VIP图

Fig. 5 OPLS-DA VIP plot of 20 batches of *U. laetevirens* samples

正理想解距离 ( $D_b^+$ )、负理想解距离 ( $D_b^-$ )。

$$D_b^+ = \sqrt{\sum_{c=1}^{15} (Z_{bc} - Z_c^+)^2} \quad (1)$$

$$D_b^- = \sqrt{\sum_{c=1}^{15} (Z_{bc} - Z_c^-)^2} \quad (2)$$

2.12.2 GRA模型 因20批宽叶荨麻中各指标量纲不统一, 需按照公式  $Y_{ij} = Z_{ij}/Z_{vj}$  ( $Z_{ij}$  为各评价指

标含量数据,  $Z_{vj}$  为第  $j$  个评价指标含量检测结果的均值) 进行处理<sup>[21]</sup>,  $Y_{ij}$  值见表8。处理后各成分的最大值为最优参考序列 ( $Y_{bj}$ ), 最小值则为最差参考序列 ( $Y_{sj}$ )。再根据公式 (3) (4) 计算各评价单元相对于  $Y_{bj}$ 、 $Y_{sj}$  的关联系数  $C_{j(b)}^i$  和  $C_{j(s)}^i$ 。

$$C_{j(b)}^i = \frac{\Delta_{min} + 0.5 \Delta_{max}}{|Y_{ij} - Y_{bj}| + 0.5 \Delta_{max}} \quad (3)$$

$$C_{j(s)}^i = \frac{\Delta'_{min} + 0.5 \Delta'_{max}}{|Y_{ij} - Y_{sj}| + 0.5 \Delta'_{max}} \quad (4)$$

$\Delta_{min} = \min |Y_{ij} - Y_{bj}|$ ,  $\Delta_{max} = \max |Y_{ij} - Y_{bj}|$ ,  $\Delta'_{min} = \min |Y_{ij} - Y_{sj}|$ ,  $\Delta'_{max} = \max |Y_{ij} - Y_{sj}|$ 。

按公式 (5) (6) 分别计算被评价对象相对于  $Y_{bj}$  的关联度 ( $R_{ib}$ )、被评价对象相对于  $Y_{sj}$  的关联度 ( $R_{is}$ ), 结果见表9。

$$R_{ib} = \frac{1}{15} \sum_{j=1}^{15} C_{j(b)}^i \quad (5)$$

$$R_{is} = \frac{1}{15} \sum_{j=1}^{15} C_{j(s)}^i \quad (6)$$

2.12.3 加权TOPSIS法与GRA融合 对表9数据进行无量纲化处理, 得无量纲化后  $d_i^+$ 、 $d_i^-$ 、 $r_{ib}$ 、 $r_{is}$ 。由公式 ( $E_i^+ = 0.5d_i^- + 0.5r_{ib}$ ,  $E_i^- = 0.5d_i^+ + 0.5r_{is}$ ) 计算整合后与正理想样本的贴近度 ( $E_i^+$ ) 与理想样本

表7 含量原始数据标准化处理结果

Table 7 Results of standardized processing of raw content data

编号	标准化值														
	原儿茶酸	绿原酸	咖啡酸	阿魏酸	金丝桃苷	芦丁	槲皮素	芹菜素	山柰酚	木犀草素	胡萝卜苷	β-谷甾醇	浸出物	总灰分	酸不溶性灰分
S1	0.317 5	0.615 6	0.208 8	0.376 1	0.364 9	0.417 6	0.445 7	0.300 0	0.542 0	0.516 7	0.297 3	0.539 1	0.500 0	0.550 6	0.655 2
S2	0.412 7	0.843 6	0.406 6	0.213 7	0.554 1	0.266 8	0.581 1	0.357 1	0.480 9	0.858 7	0.396 4	0.978 3	0.436 0	0.483 1	0.793 1
S3	0.333 3	1.000 0	0.560 4	0.418 8	0.451 7	0.492 7	0.240 4	0.385 7	0.137 4	1.000 0	0.324 3	1.000 0	0.407 0	0.640 4	0.862 1
S4	0.507 9	0.820 8	0.340 7	0.299 1	0.308 3	0.458 6	0.402 6	0.571 4	0.290 1	0.702 6	0.522 5	0.526 1	0.540 7	0.427 0	0.620 7
S5	0.555 6	0.957 7	0.450 5	0.333 3	0.404 9	0.392 9	0.535 6	0.457 1	0.419 8	0.799 3	0.427 9	0.760 9	0.476 7	0.460 7	0.689 7
S6	0.603 2	0.996 7	0.516 5	0.427 4	0.255 6	0.594 0	0.355 9	0.514 3	0.267 2	0.758 4	0.468 5	0.900 0	0.453 5	0.539 3	0.827 6
S7	0.412 7	0.742 7	0.241 8	0.205 1	0.140 5	0.448 6	0.287 0	0.600 0	0.190 8	0.568 8	0.621 6	0.626 1	0.412 8	0.618 0	0.586 2
S8	0.460 3	0.853 4	0.307 7	0.367 5	0.357 1	0.433 1	0.395 6	0.400 0	0.358 8	0.732 3	0.455 0	0.773 9	0.488 4	0.528 1	0.689 7
S9	0.920 6	0.185 7	0.087 9	0.042 7	0.306 3	0.157 8	0.421 2	0.171 4	0.259 5	0.468 4	0.000 0	0.365 2	0.075 6	0.000 0	0.448 3
S10	0.888 9	0.188 9	0.033 0	0.111 1	0.100 5	0.079 7	0.064 2	0.114 3	0.053 4	0.290 0	0.189 2	0.643 5	0.104 7	0.089 9	0.275 9
S11	0.841 3	0.172 6	0.065 9	0.145 3	0.140 5	0.151 6	0.094 5	0.142 9	0.152 7	0.371 7	0.324 3	0.000 0	0.000 0	0.269 7	0.517 2
S12	1.000 0	0.273 6	0.000 0	0.059 8	0.000 0	0.030 9	0.046 7	0.000 0	0.000 0	0.063 2	0.225 2	0.482 6	0.034 9	0.213 5	0.413 8
S13	0.936 5	0.000 0	0.044 0	0.000 0	0.054 6	0.000 0	0.000 0	0.057 1	0.084 0	0.000 0	0.144 1	0.434 8	0.052 3	0.303 4	0.000 0
S14	0.904 8	0.159 6	0.022 0	0.068 4	0.122 9	0.086 6	0.117 9	0.100 0	0.099 2	0.267 7	0.157 7	0.395 7	0.075 6	0.168 5	0.310 3
S15	0.111 1	0.759 0	0.934 1	0.846 2	0.862 4	0.804 3	0.886 8	0.885 7	0.687 0	0.423 8	0.630 6	0.387 0	1.000 0	0.932 6	0.862 1
S16	0.174 6	0.377 9	0.791 2	0.948 7	1.000 0	0.905 6	0.853 0	0.942 9	0.748 1	0.658 0	1.000 0	0.334 8	0.959 3	0.910 1	0.793 1
S17	0.079 4	0.873 0	0.868 1	0.803 4	0.762 9	0.952 0	0.797 0	0.842 9	0.809 2	0.249 1	0.711 7	0.265 2	0.889 5	1.000 0	1.000 0
S18	0.000 0	0.570 0	1.000 0	1.000 0	0.952 2	1.000 0	0.955 7	1.000 0	1.000 0	0.472 1	0.941 4	0.195 7	0.982 6	0.820 2	0.896 6
S19	0.238 1	0.081 4	0.714 3	0.897 4	0.900 5	0.854 6	1.000 0	0.785 7	0.877 9	0.215 6	0.810 8	0.126 1	0.936 0	0.764 0	0.758 6
S20	0.285 7	0.706 8	0.648 4	0.735 0	0.810 7	0.595 5	0.746 8	0.642 9	0.618 3	0.334 6	0.761 3	0.078 3	0.953 5	0.786 5	0.862 1

表 8 原始数据无量纲化处理

Table 8 Dimensionless treatment of original data

编号	$Y_{ij}$														
	原儿茶酸	绿原酸	咖啡酸	阿魏酸	金丝桃苷	芦丁	槲皮素	芹菜素	山柰酚	木犀草素	胡萝卜苷	$\beta$ -谷甾醇	浸出物	总灰分	酸不溶性灰分
S1	0.882 1	1.039 4	0.858 2	0.978 4	0.958 0	0.980 1	0.981 6	0.832 1	1.138 3	1.024 5	0.871 9	1.022 4	1.008 4	0.980 1	0.974 0
S2	0.943 6	1.197 9	0.996 2	0.889 0	1.060 4	0.902 1	1.141 2	0.890 5	1.077 2	1.313 6	0.945 1	1.226 1	0.959 9	1.032 1	0.714 3
S3	0.892 3	1.306 6	1.103 4	1.001 9	1.005 0	1.018 9	0.739 3	0.919 7	0.733 4	1.433 1	0.891 8	1.236 1	0.937 9	0.910 7	0.584 4
S4	1.005 1	1.182 1	0.950 2	0.936 0	0.927 3	1.001 3	0.930 6	1.109 5	0.886 2	1.181 6	1.038 3	1.016 3	1.039 2	1.075 5	1.039 0
S5	1.035 9	1.277 2	1.026 8	0.954 8	0.979 6	0.967 3	1.087 6	0.992 7	1.016 0	1.263 4	0.968 4	1.125 2	0.990 8	1.049 4	0.909 1
S6	1.066 7	1.304 3	1.072 8	1.006 6	0.898 8	1.071 3	0.875 6	1.051 1	0.863 3	1.228 8	0.998 3	1.189 8	0.973 1	0.988 7	0.649 4
S7	0.943 6	1.127 7	0.881 2	0.884 3	0.836 5	0.996 1	0.794 3	1.138 7	0.786 9	1.068 5	1.111 5	1.062 7	0.942 3	0.928 0	1.103 9
S8	0.974 4	1.204 7	0.927 2	0.973 7	0.953 7	0.988 1	0.922 4	0.934 3	0.954 9	1.206 8	0.988 4	1.131 3	0.999 6	0.997 4	0.909 1
S9	1.271 8	0.740 5	0.773 9	0.794 9	0.926 3	0.845 7	0.952 6	0.700 7	0.855 6	0.983 7	0.652 2	0.941 7	0.686 9	1.405 0	1.363 6
S10	1.251 3	0.742 8	0.735 6	0.832 5	0.814 9	0.805 3	0.531 4	0.642 3	0.649 4	0.832 8	0.792 0	1.070 8	0.708 9	1.33 56	1.688 3
S11	1.220 5	0.731 4	0.758 6	0.851 4	0.836 5	0.842 5	0.567 2	0.671 5	0.748 7	0.901 9	0.891 8	0.772 3	0.629 7	1.196 9	1.233 8
S12	1.323 1	0.801 6	0.712 6	0.804 3	0.760 5	0.780 2	0.510 7	0.525 5	0.595 9	0.641 1	0.818 6	0.996 2	0.656 1	1.240 2	1.428 6
S13	1.282 1	0.611 4	0.743 3	0.771 4	0.790 0	0.764 2	0.455 7	0.583 9	0.679 9	0.587 7	0.758 7	0.974 0	0.669 3	1.170 9	2.207 8
S14	1.261 5	0.722 4	0.728 0	0.809 0	0.827 0	0.808 9	0.594 7	0.627 7	0.695 2	0.814 0	0.768 7	0.955 8	0.686 9	1.274 9	1.623 4
S15	0.748 7	1.139 0	1.364 0	1.237 1	1.227 3	1.180 0	1.501 9	1.430 7	1.283 4	0.945 9	1.118 1	0.951 8	1.387 1	0.685 2	0.584 4
S16	0.789 7	0.874 1	1.264 4	1.293 5	1.301 8	1.232 4	1.462 0	1.489 1	1.344 5	1.143 9	1.391 0	0.927 6	1.356 2	0.702 5	0.714 3
S17	0.728 2	1.218 3	1.318 0	1.213 5	1.173 4	1.256 4	1.395 9	1.386 9	1.405 7	0.798 2	1.178 0	0.895 3	1.303 4	0.633 1	0.324 7
S18	0.676 9	1.007 7	1.410 0	1.321 7	1.275 9	1.281 2	1.583 1	1.547 4	1.596 6	0.986 8	1.347 8	0.863 1	1.373 8	0.771 9	0.519 5
S19	0.830 8	0.668 0	1.210 7	1.265 3	1.247 9	1.206 0	1.635 5	1.328 5	1.474 4	0.770 0	1.251 2	0.830 8	1.338 6	0.815 3	0.779 2
S20	0.861 5	1.102 8	1.164 8	1.175 9	1.199 3	1.072 1	1.336 7	1.182 5	1.214 7	0.870 5	1.214 6	0.808 6	1.351 8	0.797 9	0.584 4

表 9 20 批宽叶荨麻样品的  $D_b^+$ 、 $D_b^-$ 、 $R_{ib}$ 、 $R_{is}$

Table 9  $D_b^+$ ,  $D_b^-$ ,  $R_{ib}$ ,  $R_{is}$  of 20 batches of *U. laetevirens* samples

编号	$D_b^+$	$D_b^-$	$R_{ib}$	$R_{is}$
S1	2.141 6	1.800 3	0.465 9	0.554 1
S2	1.897 7	2.396 8	0.535 4	0.523 4
S3	1.953 0	2.531 4	0.553 2	0.546 1
S4	2.055 0	2.030 3	0.503 6	0.519 7
S5	1.865 9	2.328 1	0.534 1	0.502 3
S6	1.927 5	2.420 3	0.543 8	0.515 0
S7	2.349 2	1.831 4	0.476 2	0.565 0
S8	1.982 7	2.151 3	0.505 7	0.524 0
S9	2.887 5	1.191 6	0.474 1	0.663 4
S10	3.274 8	0.946 0	0.459 5	0.701 8
S11	3.284 0	0.774 9	0.424 2	0.720 2
S12	3.479 8	0.804 7	0.439 6	0.773 3
S13	3.660 3	0.638 0	0.449 9	0.792 7
S14	3.288 1	0.770 0	0.442 7	0.714 6
S15	1.197 6	2.995 8	0.642 4	0.491 6
S16	1.296 4	3.124 9	0.686 7	0.474 0
S17	1.369 3	3.027 6	0.624 6	0.530 0
S18	1.299 4	3.277 3	0.744 7	0.486 9
S19	1.914 6	2.900 8	0.632 4	0.513 3
S20	1.665 0	2.572 4	0.566 9	0.513 5

的贴近度 ( $E_i^-$ )，再按照公式计算相对贴近度 [ $\gamma_i$ ,  $\gamma_i = E_i^+ / (E_i^+ + E_i^-)$ ]，并根据  $\gamma_i$  对样品质量进行排序<sup>[21]</sup>。见表 10。结果 20 批宽叶荨麻样品中源于青海和西藏 S15~S20 样品的综合相对贴近度分别为 0.652 2、

0.663 3、0.628 3、0.673 6、0.597 0、0.583 7，综合质量评分较高，提示高海拔地区可能是优质宽叶荨麻的潜在产区。

### 3 讨论

#### 3.1 检测指标选择的依据与合理性

本研究结合现有文献，对宽叶荨麻所含化学成分进行分析，明确其主要含有黄酮类、有机酸类、甾醇类等物质。所选指标不仅基于其药理活性，更注重其在宽叶荨麻植物中的客观存在性与含量基础。原儿茶酸、绿原酸、咖啡酸、阿魏酸、金丝桃苷、芦丁、槲皮素、芹菜素、山柰酚、木犀草素等成分在荨麻属植物中已被广泛报道<sup>[9, 13-14]</sup>；胡萝卜苷和  $\beta$ -谷甾醇亦是宽叶荨麻中常见的甾体类成分<sup>[10]</sup>。此外，本课题组前期预实验及本次含量测定结果均证实，上述成分在宽叶荨麻中普遍存在，且其中芦丁、金丝桃苷、槲皮素等黄酮类成分含量相对较高（如芦丁质量分数达 1.911~3.204 mg/g），具备作为质量评价潜在化学标志物的基础。

从药理活性来看，上述成分多具有明确的抗炎、抗氧化、抗菌等作用。其中原儿茶酸具有抑菌、抗炎、抗抑郁等作用<sup>[25-26]</sup>；绿原酸具有抗菌、抗病毒、利胆、降压、消炎作用，咖啡酸具有抑菌、抗

表 10 20 批宽叶荨麻样品的  $d_i^+$ 、 $d_i^-$ 、 $r_{ib}$ 、 $r_{is}$ 、 $E_i^+$ 、 $E_i^-$ 、 $\gamma_i$   
Table 10  $d_i^+$ ,  $d_i^-$ ,  $r_{ib}$ ,  $r_{is}$ ,  $E_i^+$ ,  $E_i^-$ ,  $\gamma_i$  of 20 batches of *U. laetevirens* samples

编号	$d_i^+$	$d_i^-$	$r_{ib}$	$r_{is}$	$E_i^+$	$E_i^-$	$\gamma_i$	排序
S1	0.585 1	0.549 3	0.625 6	0.699 0	0.587 5	0.642 1	0.477 8	13
S2	0.518 5	0.731 3	0.718 9	0.660 3	0.725 1	0.589 4	0.551 6	10
S3	0.533 6	0.772 4	0.742 8	0.688 9	0.757 6	0.611 3	0.553 4	9
S4	0.561 4	0.619 5	0.676 2	0.655 6	0.647 9	0.608 5	0.515 7	12
S5	0.509 8	0.710 4	0.717 2	0.633 7	0.7138	0.571 8	0.555 2	8
S6	0.526 6	0.738 5	0.730 2	0.649 7	0.734 4	0.588 2	0.555 3	7
S7	0.641 8	0.558 8	0.639 5	0.712 8	0.599 2	0.677 3	0.469 4	14
S8	0.541 7	0.656 4	0.679 1	0.661 0	0.667 8	0.601 4	0.526 2	11
S9	0.788 9	0.363 6	0.636 6	0.836 9	0.500 1	0.812 9	0.380 9	15
S10	0.894 7	0.288 7	0.617 0	0.885 3	0.452 9	0.890 0	0.337 3	16
S11	0.897 2	0.236 4	0.569 6	0.908 5	0.403 0	0.902 9	0.308 6	18
S12	0.950 7	0.245 5	0.590 3	0.975 5	0.417 9	0.963 1	0.302 6	19
S13	1.000 0	0.194 7	0.604 1	1.000 0	0.399 4	1.000 0	0.285 4	20
S14	0.898 3	0.234 9	0.594 5	0.901 5	0.414 7	0.899 9	0.315 5	17
S15	0.327 2	0.914 1	0.862 6	0.620 2	0.888 4	0.473 7	0.652 2	3
S16	0.354 2	0.953 5	0.9221	0.598 0	0.937 8	0.476 1	0.663 3	2
S17	0.374 1	0.923 8	0.838 7	0.668 6	0.881 3	0.521 4	0.628 3	4
S18	0.355 0	1.000 0	1.000 0	0.614 2	1.000 0	0.484 6	0.673 6	1
S19	0.523 1	0.885 1	0.849 2	0.647 5	0.867 2	0.585 3	0.597 0	5
S20	0.454 9	0.784 9	0.761 2	0.647 8	0.773 1	0.551 4	0.583 7	6

病毒、抗氧化作用<sup>[27]</sup>；阿魏酸具有抗氧化、抗炎、抗菌等药理活性<sup>[28]</sup>；黄酮类化合物具有抗炎、抗氧化、抗肿瘤等作用<sup>[29]</sup>，宽叶荨麻中黄酮类活性代表成分包括金丝桃苷、芦丁、槲皮素、芹菜素、山柰酚、木犀草素等；甾醇类化合物中，胡萝卜苷具有抗肿瘤、抗氧化及保护神经等作用<sup>[30]</sup>， $\beta$ -谷甾醇则表现出抗菌、抗炎、抗氧化、抗衰老、抗动脉粥样硬化等广泛生理活性<sup>[31]</sup>。

基于“成分可测性、含量相对较高”与“药理活性明确”的双重依据，本研究选取原儿茶酸、绿原酸、咖啡酸、阿魏酸、金丝桃苷、芦丁、槲皮素、芹菜素、山柰酚、木犀草素、胡萝卜苷、 $\beta$ -谷甾醇为检测指标，采用 HPLC 法同时测定其含量，以期丰富宽叶荨麻质量标准提供参考。陈艳等<sup>[32]</sup>报道荨麻醇苷在宽叶荨麻根中含量较高，本实验中曾尝试将其纳入定量检测，但初步预试验显示其在供试品中响应较低，故未纳入测定指标。

### 3.2 多指标定量结果与地域差异分析

现有研究多集中于宽叶荨麻中 1~2 个成分的含量测定，如格日勒其其格等<sup>[11]</sup>仅测定金丝桃苷，赵端玮等<sup>[13]</sup>仅测定绿原酸与芦丁，李小平等<sup>[14]</sup>测定

了绿原酸和咖啡酸，难以全面反映宽叶荨麻的整体质量。本实验首次建立了同时测定 12 个成分的 HPLC 方法，涵盖了有机酸、黄酮、甾醇等多类活性成分，并结合浸出物、总灰分等常规检查项，形成了更为全面的多指标定量体系，方法重复性好，操作简便，稳定性高，测定结果准确可靠，能够更客观地反映宽叶荨麻的整体化学特征，体现了本方法的先进性与科学性。

### 3.3 化学模式识别在质量差异标志物筛选中的应用

化学模式识别分析 (HCA、PCA) 将 20 批样品清晰地分为 3 类：S1~S8 (四川、甘肃、云南)、S9~S14 (广西、贵州、湖南)、S15~S20 (青海、西藏)，呈现出明显的地域聚类特征。进一步通过 OPLS-DA 模型筛选出 VIP>1 的 6 个成分，分别为芦丁、金丝桃苷、槲皮素、绿原酸、木犀草素和  $\beta$ -谷甾醇，为后续建立一测多评法等更为简化的质量评价模式提供了靶向指标。

### 3.4 加权 TOPSIS 与 GRA 融合模型的综合评价

化学模式识别虽然揭示了样品分组趋势和标志性成分，但无法对样品质量进行综合排序。因此进一步引入多准则决策模型，同时为避免单一评价

方法的局限性,本研究将加权 TOPSIS 与 GRA 法相融合。加权 TOPSIS 侧重于从数据样本中寻找与理想解的欧氏距离,反映数据间的静态位置关系;而 GRA 则通过关联度描述数据序列的几何相似性,反映动态变化趋势。二者的融合实现了信息互补,使评价结果更为稳健<sup>[21]</sup>。结果显示,20 批样品的综合相对贴近度在 0.285 4~0.673 6,其中来源于青海、西藏的样品(S15~S20)综合评分普遍较高。这一结果与化学模式识别的分组趋势高度一致,相互印证了所建模型的可靠性和评价结果的科学性。

综上所述,本研究建立的多指标定量方法稳定可靠,化学模式识别联合加权 TOPSIS 与 GRA 融合模型可全面、科学地评价不同产地宽叶荨麻的质量差异,为宽叶荨麻的质量控制和优质资源筛选提供了重要的数据支撑和方法学参考。较传统的质量评价方法,VIP 值构建加权 TOPSIS 模型,使各指标权重更具科学依据,同时将加权 TOPSIS 与 GRA 融合,兼顾数据间的静态位置关系与动态几何相似性,提升了评价结果的稳健性。结合 OPLS-DA 筛选出 6 个关键差异标志物作为评价核心指标,使融合模型更具针对性与代表性,进一步增强了质量评价的合理性。但也存在一定局限性,如受限于采样条件,样品采集产地及采集批次偏少,虽能反映一定的地域趋势,但难以完全代表该产区的整体质量特征。宽叶荨麻为多年生草本,通常秋季采收,生长年限和采收期均可影响药材质量,迟晓峰等<sup>[33]</sup>采用 ICP-MS 法对比出 7 月和 8 月采收的宽叶荨麻是微量元素明显高于其他月份;刘思齐等<sup>[34]</sup>通过采集营养期(6月中旬)、开花期(8月中旬)、结实期(9月底)西藏荨麻的全株样品,发现其含有的粗蛋白质、钙、铁及油酸、亚油酸、 $\alpha$ -亚麻酸和鞣酸、多糖、黄酮和皂苷等物质呈现明显的季节动态变化。后续将扩大采样规模和采收期,进一步开展采收期与成分含量的动态关系考察,针对青海、西藏等优质产区增加样本量,进一步验证核心产区质量的稳定性。本研究采用 HPLC 同时测定 12 个成分,检测成本较高,不利于常规质检推广,鉴于已筛选出 6 个关键差异标志物,后续拟建立以芦丁或金丝桃苷为内参物的一测多评法,实现多指标的低成本、高效率检测。目前评价仅限于化学指标,尚未与药效进行关联,未来可结合抗炎、抗氧化等药理模型开展谱效关系研究,明确质量标志物与药效活性的内在联系,推动建立“化学-生物”相结合的质量评价体系。

**利益冲突** 所有作者均声明不存在利益冲突

## 参考文献

- [1] 拉珍,普穷次仁.药食同源荨麻的本草考证[J].中国民族医药杂志,2025,31(8):25-28.
- [2] 中国药品生物制品检定所.中国民族药志(第二卷)[M].北京:人民卫生出版社,1990:78.
- [3] 闵勇,姚立华,张薇,等.荨麻属植物的研究进展[J].时珍国医国药,2010,21(9):2345-2346.
- [4] 朱琪.维吾尔族医药学[M].昆明:云南民族出版社,1995:298.
- [5] 关枫,刘天博,任欠欠,等.荨麻多糖的结构、药理作用、提取和测定方法研究进展[J].中医药信息,2023,40(5):84-89.
- [6] 陈成标.宽叶荨麻化学成分及其降糖活性研究[D].西宁:青海师范大学,2021.
- [7] 唐功,郑星如.宽叶荨麻中总黄酮的提取工艺及活性研究[J].河南化工,2025,42(1):16-19.
- [8] 贾慧萍,胡樱,魏晶晶,等.宽叶荨麻化学成分和药理作用及其开发利用研究进展[J].青海草业,2021,30(2):57-60.
- [9] Grauso L, de Falco B, Lanzotti V, et al. Stinging nettle, *Urtica dioica* L.: Botanical, phytochemical and pharmacological overview [J]. *Phytochem Rev*, 2020, 19(6): 1341-1377.
- [10] 谭麒麟,陶恩,李红玲,等.荨麻的药理作用研究进展[J].医学综述,2018,24(20):4118-4122.
- [11] 格日勒其其格,赵阳,周雪梅,等.HPLC 法测定蒙药材荨麻中 3,4-二香草基四氢呋喃的含量[J].中国民族医药杂志,2013,19(12):55-56.
- [12] 黄和军,单晨啸,崔小兵,等.高效液相色谱法测定荨麻中 3,4-二香草基四氢呋喃的含量[J].中南药学,2015,13(12):1317-1319.
- [13] 赵端玮,杨树声,赵建邦,等.藏药材荨麻中绿原酸和芦丁的含量测定[J].中国药师,2016,19(7):1409-1410.
- [14] 李小平,张菁华.反相高效液相色谱法同时测定荨麻中绿原酸和咖啡酸[J].中国医药导报,2012,9(31):112-114.
- [15] 陈海娟,王文颖,马继雄.青海荨麻中一种主要药用成分的含量测定[J].青海师范大学学报:自然科学版,2012,28(2):52-54.
- [16] 杜煜,姚佳,倪礼礼,等.基于一测多评多指标定量结合化学模式识别及 CRITIC-TOPSIS 分析的不同产地蕤仁质量评价[J].中草药,2025,56(18):6773-6783.
- [17] 吴瑞,程庆兵,金风华,等.基于指纹图谱结合化学模式识别评价不同品种梅花的质量及抗氧化活性[J].中草药,2026,57(2):652-664.
- [18] 李思阳,李更东,闫宇辉.基于 HPLC-QAMS 多指标成分联合 OPLS-DA 及加权 TOPSIS 模型的喜树果药材

- 质量评价 [J]. 世界科学技术—中医药现代化, 2025, 27(5): 1376-1385.
- [19] 龚文慧, 高磊, 辛力, 等. 基于指纹图谱及多成分含量测定结合加权 TOPSIS 的红芪及其不同炮制品质量评价 [J]. 天然产物研究与开发, 2025, 37(5): 930-943.
- [20] 张正, 王洪东, 喻璐喆, 等. 基于化学计量学与灰色关联度—逼近理想解排序法模型的知母药材质量评价方法 [J]. 安徽中医药大学学报, 2024, 43(5): 91-98.
- [21] 宋怡, 王泉. 基于一测多评法结合化学模式识别及加权 TOPSIS 与灰色关联度融合模型评价不同产地款冬花的质量 [J]. 药物分析杂志, 2025, 45(8): 1442-1457.
- [22] 中国药典 [S]. 四部. 2025: 307, 309.
- [23] 徐建华, 周虹, 李志明, 等. 基于一测多评结合化学模式识别法及加权 TOPSIS 与灰色关联度融合模型评价不同产地凤尾草的质量 [J]. 中草药, 2024, 55(19): 6738-6748.
- [24] 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.
- [25] 高振杰, 张晶, 张大伟, 等. 应用网络药理学和实验验证方法探讨原儿茶酸抗抑郁症的作用机制 [J]. 海南医科大学学报, 2025, 31(10): 758-770.
- [26] 芦平, 刘欢, 肖苗, 等. 原儿茶酸对副溶血弧菌的抑菌和减毒作用 [J]. 现代食品科技, 2022, 38(5): 278-285.
- [27] 赵志君, 刘喜华, 郭玫. 苯丙酸类化合物的含量测定 [J]. 中医儿科杂志, 2006, 2(5): 52-54.
- [28] 路士熠, 程丹阳, 安梦达, 等. 肠道菌群介导谷物阿魏酸代谢及其生理功效的研究进展 [J]. 食品科学, 2024, 45(18): 307-314.
- [29] 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.
- [30] 王翔鹏, 武璐璐, 李丽丽, 等. 胡萝卜苷药理作用研究现状 [J]. 中国临床药理学杂志, 2019, 35(7): 78-89.
- [31] 陈元堃, 曾奥, 罗振辉, 等.  $\beta$ -谷甾醇药理作用研究进展 [J]. 广东药科大学学报, 2021, 37(1): 148-153.
- [32] 陈艳, 李晓波, 贾祎萍, 等. 荨麻根质量标志物研究 [J]. 天然产物研究与开发, 2021, 33(12): 2099-2106.
- [33] 迟晓峰, 矫晓丽, 冀恬, 等. ICP-MS 法测定不同采收时间宽叶荨麻中微量元素含量 [J]. 光谱学与光谱分析, 2012, 32(5): 1381-1383.
- [34] 刘思齐, 张晓庆, 赵金梅, 等. 生长期西藏荨麻营养和生物活性物质含量动态变化 [J]. 中国草地学报, 2023, 45(5): 71-76.

[责任编辑 时圣明]