

引用:张双,魏旭,刘利,陈飞,魏谭军,王春龙,肖成.基于一测多评多指标定量联合化学计量学及CRITIC-TOPSIS分析对不同产地合欢皮质量差异评价[J].中医导报,2026,32(5):69-76.

基于一测多评多指标定量联合化学计量学及CRITIC-TOPSIS分析对不同产地合欢皮质量差异评价*

张双¹,魏旭²,刘利¹,陈飞²,魏谭军²,王春龙²,肖成²

(1.达州市食品药品检验所,四川达州 635000;

2.达州市中西医结合医院/达州市第二人民医院,四川达州 635000)

[摘要] 目的:建立不同产地合欢皮中多指标定量检测方法,结合化学计量学和CRITIC-TOPSIS法开展合欢皮质量评价研究。方法:对7省15个批次合欢皮样品进行超声提取,提取物采用一测多评(QAMS)法,以木犀草素和齐墩果酸为内参物,建立内参物与异槲皮苷、槲皮苷、槲皮素、刺五加苷E、(-)-丁香树脂酚-4-O-β-D-呋喃芹糖基-(1→2)-β-D-吡喃葡萄糖苷、(-)-丁香树脂酚-4-O-β-D-葡萄糖苷、丁香脂素、胡萝卜苷、β-谷甾醇的相对校正因子,同时采用外标法与QAMS法分别检测合欢皮中11个成分含量,验证QAMS法的可行性;根据《中华人民共和国药典》检查法测定醇溶性浸出物、总灰分和酸不溶性灰分含量。采用化学识别模式和CRITIC-TOPSIS法分析以上14个指标测量数据,建立合欢皮质量评价研究模型,对其质量差异性进行综合评价。结果:11个成分各自质量浓度范围内线性关系良好,平均加样回收率96.92%~100.11%(RSD<2.0%),QAMS法与外标法所得各成分含量差异无统计学意义(P>0.05);化学计量学分析提取出2个主成分,代表14个指标87.318 5%的信息,15批样品聚为3类;槲皮苷、齐墩果酸、(-)-丁香树脂酚-4-O-β-D-呋喃芹糖基-(1→2)-β-D-吡喃葡萄糖苷、β-谷甾醇和槲皮素的VIP值>1;CRITIC-TOPSIS法分析结果显示15批合欢皮中S6的质量最优(C_i值为0.606 6)。结论:建立的多指标定量检测方法简便、准确,结合化学计量学及CRITIC-TOPSIS法可为合欢皮质量控制与评价提供参考。

[关键词] 合欢皮;一测多评法;化学计量学;CRITIC-TOPSIS法;质量评价

[中图分类号] R284.1 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1672-951X(2026)05-0069-08

DOI:10.13862/j.cn43-1446/r.2026.05.011

Evaluation of Quality Differences of *Albiziae Cortex* from Different Origins Based on Quantitative Analysis of Multi-components by Single Marker Combined with Chemometrics and CRITIC-TOPSIS Analysis

ZHANG Shuang¹, WEI Xu², LIU Li¹, CHEN Fei², WEI Tanjun², WANG Chunlong², XIAO Cheng²

(1.Dazhou Institution of Food and Drug Control, Dazhou Sichuan 635000, China; 2.Dazhou Integrated TCM & Western Medical Hospital/ Dazhou Second People's Hospital, Dazhou Sichuan 635000, China)

[Abstract] Objective: To establish a multi-index quantitative detection for *Albiziae cortex* from different origins and to evaluate its quality by combining chemometrics with the CRITIC-TOPSIS method. Methods: The samples of *Albiziae cortex* from 15 batches in 7 provinces were extracted by ultrasonic treatment, and the extracts were detected by Quantitative analysis of multi-components by single marker (QAMS). Luteolin and oleanolic acid served as the internal reference, and a multi-point calibration method was utilized to calculate the relative correction factors for isoquercitrin, quercitrin, quercetin, eleutheroside E, (-)-syringaresinol-4-O-β-D-apiofuranosyl-(1→2)-β-D-glucopyranoside, episyngaresinol 4'-O-β-D-glucopyranoside, syringaresinol, daucosterol, β-sitosterol to be tested. The contents of 11 components in *Albiziae cortex* were determined by both the external standard method and the QAMS method to verify the feasibility of the QAMS method. The

*基金项目:四川省中医药管理局项目(25MSZX434,25MSZX437);四川省中央引导地方科技发展专项项目(2023ZYD0283)

通信作者:魏旭,女,主管药师,研究方向为中药及制剂检验

contents of alcohol-soluble extract, total ash and acid-insoluble ash were determined according to the *Chinese Pharmacopoeia*. The chemical identification model and CRITIC-TOPSIS method were used to analyze the measurement data of the above 14 indicators, and the quality evaluation research model of *Albiziae cortex* was established to comprehensively evaluate the quality differences. Results: The linear relationship was good in the range of each mass concentration of 11 components in *Albiziae cortex*, with the average recovery rate of 96.92%–100.11% ($RSD < 2.0\%$), and there was no significant difference in the content of each component between QAMS method and the external standard method ($P > 0.05$). Chemometrics analysis extracted 2 principal components, which represent 87.318 5% information of 14 indicators. The 15 batches of samples were clustered into 3 categories. The VIP values of quercitrin, oleanolic acid, (-)-syringaresinol-4-O-β-D-apiofuranosyl-(1→2)-β-D-glucopyranoside, β-sitosterol and quercetin were >1. The results of CRITIC-TOPSIS analysis showed that the quality of S6 in 15 batches of *Albiziae cortex* was the best (C_i value was 0.606 6). Conclusion: The established multi-index quantitative detection is simple and accurate. Combined with chemometrics and CRITIC-TOPSIS method, it can provide reference for quality control and evaluation of *Albiziae cortex*.

[Keywords] *Albiziae cortex*; Quantitative analysis of multi-components by single marker; chemometrics; CRITIC-TOPSIS; quality evaluation

合欢皮为豆科植物合欢 *Albizia julibrissin* Durazz. 的干燥树皮, 在华东、华南、辽宁及陕西等地均有分布^[1-2], 并被2025年版《中华人民共和国药典》收载。合欢皮含有的化学成分包括三萜、黄酮、木脂素等^[3-5], 具有解郁安神、活血消肿的功效, 主要用于心神不安、忧郁失眠、肺癰、疮肿、跌扑伤痛等症的治疗^[6-7]。研究发现, 合欢皮还具有抗肿瘤、抗过敏、增强免疫等作用^[8-10]。合欢皮现行标准^[9]仅对合欢皮中1个化学成分进行定量控制。中药材成分复杂, 多组分协同作用发挥临床药效, 单一成分定量难以全面控制和评价其质量。一测多评(QAMS)法是一种低成本、高效率的检验分析方法, 以质量稳定、价格低廉的一个或两个成分为内参物, 通过成分间某种内在函数关系, 建立成分间相对校正因子, 实现多指标的定量计算。该方法广泛应用于中药材及其复方制剂的质量控制中^[11]。化学计量学通过统计分析的方法对高维数据降维、分类、识别, 在中药质量控制方面应用越来越广泛^[12]。指标相关性权重系数法(CRITIC)通过计算方法对评价指标赋权, 科学性较强, 避免了主观因素, 常与其他分析方法联用^[3]。优劣解距离(TOPSIS)法通过建立参照系(理想、不理想方案), 计算评价指标与参照系的距离, 以此数据对评价指标进行优劣性排序, 达到对参评对象的评价, 适用于成分复杂的中药质量评价^[14-15]。本研究以不同产地的15批样品为研究对象, 选取木犀草素和齐墩果酸为内参物, 采用QAMS法对异槲皮苷(isoquercitrin, ISQC)、槲皮苷(quercitrin, QUCI)、木犀草素(luteolin, LUTL)、槲皮素(quercetin, QUCE)、刺五加苷E(eleutheroside, ELTS)、(-)-丁香树脂酚-4-O-β-D-呋喃糖基-(1→2)-β-D-吡喃葡萄糖苷((-)-syringaresinol-4-O-β-D-apiofuranosyl-(1→2)-β-D-glucopyranoside, SYAG)、(-)-丁香树脂酚-4-O-β-D-葡萄糖苷(episyringaresinol 4'-O-β-D-glucopyranoside, EPIG)、丁香脂素(syringaresinol, SYGS)、齐墩果酸(oleanolic acid, OLAC)、胡萝卜苷(daucosterol, DAST)、β-谷甾醇(β-sitosterol, SIST)含量进行测定, 同时检查醇溶性浸出物(alcohol-soluble extract, ALSE)、总灰分(total ash, TOAS)和酸不溶性灰分

(acid-insoluble ash, ACIS), 结合化学计量学及CRITIC-TOPSIS法对含量数据进行分析, 以完善合欢皮质量评价方法, 旨在为快速准确评价合欢皮的质量提供参考。

1 材料

1.1 试剂 对照品QUCE(含量98.7%, 批号:100081-202411)、ELTS(含量98.1%, 批号:111713-202105)、SYAG(含量98.2%, 批号:111911-202505)、LUTL(含量96.3%, 批号:111520-202107)、ISQC(含量96.3%, 批号:111809-202205)、QUCI(含量95.3%, 批号:111538-202308)、OLAC(含量95.8%, 批号:110709-202109)均购自中国食品药品检定研究院; EPIG(含量99.9%, 批号:TMS0484-228806)、DAST(含量99.7%, 批号:T3871-D33422)、SIST(含量99.0%, 批号:T2966-237691)、SYGS(含量96.0%, 批号:TN1594-234686)均购自上海陶术生物科技有限公司; 乙腈和磷酸(HPLC级, 美国Roe Scientific INC), 其他试剂为AR级。

1.2 样品 试验用合欢皮样品产地信息见表1。

表1 合欢皮样品采集信息

编号	采集地	采集时间	编号	采集地	采集时间
S1	江苏沭阳县	2024年7月	S9	河北涞源县	2024年8月
S2	江苏灌云县	2024年7月	S10	河北涉县	2024年8月
S3	安徽霍山县	2024年8月	S11	贵州赫章县	2024年7月
S4	安徽金寨县	2024年8月	S12	贵州剑河县	2024年7月
S5	湖北宣恩县	2024年7月	S13	四川青川县	2024年8月
S6	湖北竹溪县	2024年7月	S14	四川宣汉县	2024年8月
S7	山东鄆城县	2024年7月	S15	四川旺苍县	2024年8月
S8	山东临沭县	2024年7月			

1.3 仪器 CPA225D型电子天平(德国赛多利斯有限公司); JP-080ST型超声波清洗器(深圳市洁盟清洗设备有限公司); LC-20AC型HPLC仪(日本岛津公司); H-Class型HPLC仪(美国Waters公司)。

2 方法与结果

2.1 混合对照品溶液的制备 精密称取对照品ISQC、LUTL、

QUCE、ELTS、SYAG、EPIG、SYGS、OLAC、DAST、SIST, 用50%甲醇溶解,制成质量浓度分别为0.212、0.488、0.094、0.162、0.310、0.178、0.068、0.290、0.042、0.204 mg/mL的对照品贮备液 I;精密称取对照品QUCI,用50%甲醇溶解,制成质量浓度为1.170 mg/mL的对照品贮备液 II。精密吸取贮备液 I 1.0 mL、贮备液 II 2.0 mL,置同一20 mL量瓶中,用50%甲醇稀释至刻度,即得(上述11个对照品质量浓度分别为10.60、117.00、24.40、4.70、8.10、15.50、8.90、3.40、14.50、2.10、10.20 $\mu\text{g/mL}$)。

2.2 供试品溶液的制备 精密称取合欢皮粉末(过三号筛)约0.5 g,精密加50%甲醇25 mL,称重,超声处理60 min,冷却,补重,摇匀,过滤,即得。

2.3 色谱条件 色谱柱Nucleodur C₁₈、Hypurity C₁₈和YMC Pro C₁₈,规格均为250.0 mm×4.6 mm,5 μm ;流动相0.2%磷酸(A)-乙腈(B)梯度洗脱:0~13 min,19.0%B;13~29 min,19.0%→26.0%B;29~44 min,26.0%→52.0%B;44~58 min,52.0%→86.0%B;58~65 min,86.0%→19.0%B;ISQC、QUCI、LUTL和QUCE的检测波长为360 nm,ELTS、SYAG、EPIG、SYGS、OLAC、DAST和SIST的检测波长为210 nm;柱温30 $^{\circ}\text{C}$,进样量10 μL ,流速1.0 mL/min。

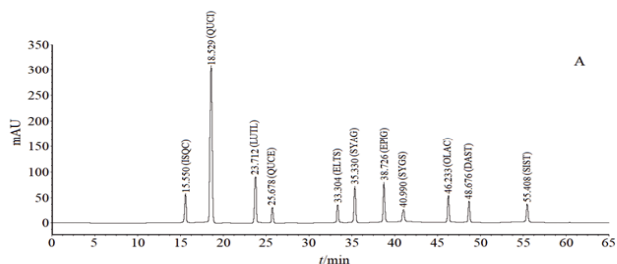
2.4 外标法方法学考察

2.4.1 系统适用性试验 按照“2.3”项色谱条件进样混合对照品溶液和供试品溶液,HPLC色谱图见图1,显示基线平稳且无明显波动,11个待测成分色谱峰均能达到基线分离,11种成分理论板数均高于5 000。

2.4.2 线性关系考察 取“2.1”项对照品贮备液 I、II,用50%甲醇梯度稀释为6个系列对照品工作溶液。按“2.3”项下色谱条件进样,对采集的11个待成分峰面积与质量浓度进行线性回归,结果见表2。

表2 11个成分的回归方程及线性范围

成分	回归方程	线性范围($\mu\text{g/mL}$)	相关系数
ISQC	$Y=1.6334 \times 10^6 X - 1504.6000$	1.06~53.00	0.9996
QUCI	$Y=1.8705 \times 10^6 X + 1913.9000$	5.85~292.50	0.9994
LUTL	$Y=1.4703 \times 10^6 X - 575.3000$	2.44~122.00	0.9997
QUCE	$Y=1.3866 \times 10^6 X - 1128.1000$	0.47~23.50	0.9994
ELTS	$Y=1.1128 \times 10^6 X + 721.9000$	0.81~40.50	0.9996
SYAG	$Y=2.0730 \times 10^6 X + 1967.5000$	1.55~77.50	0.9993
EPIG	$Y=1.1996 \times 10^6 X + 885.0000$	0.89~44.50	0.9994
SYGS	$Y=9.7340 \times 10^5 X - 238.3000$	0.34~17.00	0.9996
OLAC	$Y=1.3048 \times 10^6 X + 1483.5000$	1.45~72.50	0.9993
DAST	$Y=8.8902 \times 10^5 X + 112.1000$	0.21~10.50	0.9995
SIST	$Y=1.1564 \times 10^6 X + 1041.9000$	1.02~51.00	0.9994



2.4.3 精密度、稳定性及重复性试验 取混合对照品溶液,按“2.3”项下色谱条件连续进样6次,结果仪器精密度良好:11个待测成分峰面积的RSD值分别为1.19%、0.68%、0.93%、1.41%、1.37%、1.05%、1.28%、1.59%、1.12%、1.72%、1.21%(n=6)。取合欢皮(S1)供试品溶液,于制备后0、2、4、8、12、18、24 h时各进样10 μL ,结果供试品溶液在24 h具有稳定性,11个待测成分峰面积的RSD值依次为1.25%、1.02%、1.13%、1.64%、1.53%、1.17%、1.41%、1.76%、1.26%、1.82%、1.38%(n=7)。取合欢皮(S1)样品6份,依法制成供试品溶液分别进样,结果重复性良好:11个待测成分含量的RSD值依次为1.32%、1.14%、1.11%、1.71%、1.65%、1.20%、1.58%、1.82%、1.28%、1.89%、1.43%(n=6)。

2.4.4 加样回收率试验 取合欢皮(S1)约0.25 g,精密称定,共9份,按对照品与已知各成分含量0.8:1.0、1.0:1.0、1.2:1.0的比例加入混合对照品溶液(每1 mL含ISQC 0.157 mg、QUCI 1.194 mg、LUTL 0.241 mg、QUCE 0.052 mg、ELTS 0.089 mg、SYAG 0.216 mg、EPIG 0.119 mg、SYGS 0.033 mg、OLAC 0.186 mg、DAST 0.022 mg、SIST 0.131 mg),再按“2.2”项流程处理,每个比例制备3份,按“2.3”项下方法记录各成分峰面积,根据测得量和加入量计算各成分的加样回收率及RSD。结果11个成分的平均加样回收率分别为98.44%(RSD=1.33%)、99.89%(RSD=0.77%)、100.03%(RSD=0.80%)、97.74%(RSD=1.22%)、96.96%(RSD=1.16%)、98.64%(RSD=1.30%)、100.11%(RSD=0.69%)、96.92%(RSD=0.82%)、99.33%(RSD=1.22%)、97.72%(RSD=1.34%)和99.23%(RSD=0.87%)。

2.5 QAMS法的建立

2.5.1 相对校正因子(f)计算 采用多点校正法,取“2.4.2”项6个混合对照品溶液,按色谱条件测定,分别计算ISQC、QUCI和QUCE相对于内参物LUTL的f值,计算ELTS、SYAG、EPIG、SYGS、DAST和SIST相对于内参物OLAC的f值,结果见表3。计算公式为 $f = \frac{C_i \times A_s}{C_s \times A_i}$ (式中C_i和A_i依次为内参物的相质量浓度和峰面积,C_s和A_s依次为其他成分的相质量浓度和峰面积)。

表3 相对校正因子计算结果

混合对照品溶液	ISQC	QUCI	QUCE	ELTS	SYAG	EPIG	SYGS	DAST	SIST
1	0.8870	0.7812	1.0554	1.1861	0.6156	1.0881	1.3837	1.4761	1.1224
2	0.9103	0.7791	1.0624	1.2032	0.6342	1.1040	1.3632	1.4968	1.1471
3	0.8970	0.7596	1.0372	1.2017	0.6330	1.1053	1.3726	1.4999	1.1374
4	0.9010	0.7774	1.0469	1.1876	0.6308	1.0907	1.3545	1.4726	1.1271
5	0.9029	0.8033	1.0856	1.1439	0.6284	1.0757	1.3167	1.4470	1.1228
6	0.8999	0.7840	1.0579	1.1759	0.6295	1.0891	1.3438	1.4703	1.1290
平均值	0.8997	0.7808	1.0576	1.1831	0.6286	1.0922	1.3557	1.4771	1.1310
RSD%	0.8600	1.7900	1.5500	1.8400	1.0700	1.0100	1.7400	1.3100	0.8500

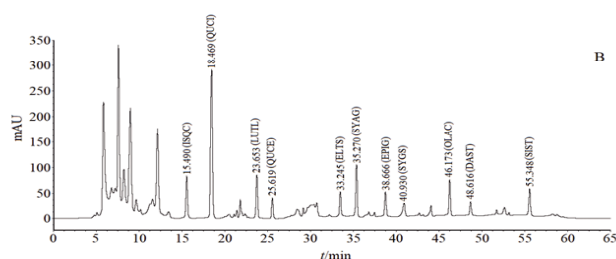


图1 混合对照品(A)和合欢皮(B)HPLC色谱图

2.5.2 相对校正因子耐用性考察 取“2.1”项下混合对照品溶液,选用HPLC色谱系统(LC-20AC型和H-Class型HPLC仪)和色谱柱(Nucleodur C₁₈柱、Hypurity C₁₈柱和YMC Pro C₁₈柱)、流速(0.8、1.0、1.2 mL/min)、柱温(25、30、35 ℃)进样检测,考察色谱条件的改变对的影响,结果见表4。其RSD均<2.0%,表明更换色谱仪、色谱柱,调整流速和柱温对各成分的*f*值无显著影响,具有较好的稳定性,方法可行。表3中各成分*f*值的均值可用于合欢皮中以上11个成分的定量计算(RSD均<2.0%)。

2.5.3 色谱峰定位 记录“2.5.2”项不同仪器和不同色谱柱运行时11待测成分色谱峰的保留时间,以LUTL和OLAC为内参物,计算其他9个成分在不同条件下的相对保留时间,结果见表5。其RSD均<2.0%,表明建立的相对保留时间法稳定可靠,可用于合欢皮中11个成分色谱峰的定位。

2.6 外标法与QAMS法含量测定结果比较 取15批合欢皮供试品溶液(每批制备3份)进样测定,运用外标法(ESM)计算样品中11个成分含量。再利用QAMS法,以LUTL为参照物,计算ISQC、QUCI和QUCE的含量;以OLAC为参照物,计算ELTS、SYAG、EPIG、SYGS、DAST和SIST的含量。通过SPSS26.0软件对各成分两种方法所得含量数据进行比较分析。(见表6)

2.7 检查

2.7.1 ALSE 按照2025年版《中华人民共和国药典》规定的浸出物测定法^[7]及合欢皮质量标准,对15批合欢皮进行测定。其中编号S13和S15的ALSE不符合要求,这可能与样品产地的土壤、土质有关。(见表7)

2.7.2 TOAS和ACIS 按照2025年版《中华人民共和国药典》规定的灰分测定法^[7],对15批合欢皮进行测定。TOAS和ACIS均存在一定的差异,这也可能与样品产地的土壤、土质有关。(见表7)

2.8 基于化学计量学的合欢皮质量评价

2.8.1 主成分分析(PCA) 将测定的15批合欢皮中以上14个指标含量结果(LUTL和OLAC为外标法值,其他为QAMS法值,下同)导入SPSS 26.0软件,采用降维的方式进行PCA,结果见表8~9。以特征值>1提取出2个主成分,累积方差贡献率为87.318%,其中第1主成分综合了ISQC、QUCI、LUTL、ELTS、SYAG、EPIG、SYGS、OLAC、DAST、SIST、ALSE、TOA 和ACIS的信息,QUCE对第2主成分的贡献率较大^[8]。同时以15批合欢皮中以上14个指标含量结果为变量,应用SIMCA 14.1软件建立PCA模型(见图2)。图2显示,S1~S6聚为一组,S7~S10聚

表4 不同色谱条件下各成分相对校正因子计算结果

考察项目		ISQC	QUCI	QUCE	ELTS	SYAG	EPIG	SYGS	DAST	SIST	
仪器及色谱柱	LC-20AC	Nucleodur C ₁₈	0.899 1	0.781 4	1.057 2	1.184 5	0.627 9	1.090 4	1.354 3	1.475 2	1.130 2
		Hypurity C ₁₈	0.898 2	0.785 0	1.063 3	1.196 4	0.629 4	1.095 7	1.369 1	1.496 5	1.132 8
		YMC Pro C ₁₈	0.908 7	0.800 6	1.085 8	1.202 5	0.633 8	1.104 2	1.385 2	1.500 3	1.148 5
	H-Class	Nucleodur C ₁₈	0.887 5	0.763 1	1.038 1	1.142 8	0.614 1	1.073 7	1.327 3	1.446 7	1.121 6
		Hypurity C ₁₈	0.889 4	0.763 7	1.046 9	1.173 2	0.616 9	1.086 3	1.348 5	1.460 2	1.134 3
		YMC Pro C ₁₈	0.901 8	0.782 4	1.071 5	1.180 7	0.620 2	1.101 6	1.379 8	1.489 6	1.139 2
		平均值	0.897 5	0.779 4	1.060 5	1.180 0	0.623 7	1.092 0	1.360 7	1.478 1	1.134 4
		RSD/%	0.880 0	1.820 0	1.610 0	1.790 0	1.250 0	1.020 0	1.590 0	1.440 0	0.790 0
	流速	0.8 mL/min	0.910 1	0.796 4	1.081 9	1.200 1	0.633 5	1.106 1	1.374 3	1.498 1	1.146 3
		1.0 mL/min	0.901 3	0.780 1	1.054 9	1.181 9	0.629 3	1.093 7	1.356 9	1.478 7	1.129 5
1.2 mL/min		0.888 1	0.775 3	1.048 2	1.157 1	0.615 8	1.074 2	1.324 7	1.447 2	1.121 2	
平均值		0.899 8	0.783 9	1.061 7	1.179 7	0.626 2	1.091 3	1.352 0	1.474 7	1.132 3	
RSD/%		1.230 0	1.410 0	1.680 0	1.830 0	1.480 0	1.470 0	1.860 0	1.740 0	1.130 0	
柱温	25 ℃	0.909 5	0.794 5	1.081 4	1.202 6	0.634 7	1.102 2	1.376 9	1.499 0	1.145 8	
	30 ℃	0.898 5	0.779 3	1.055 8	1.182 2	0.628 1	1.091 5	1.355 1	1.476 5	1.132 2	
	35 ℃	0.888 4	0.767 3	1.041 4	1.161 3	0.614 9	1.074 9	1.328 3	1.445 9	1.120 4	
	平均值	0.898 8	0.780 4	1.059 5	1.182 0	0.625 9	1.089 5	1.353 4	1.473 8	1.132 8	
	RSD/%	1.170 0	1.750 0	1.910 0	1.750 0	1.610 0	1.260 0	1.800 0	1.810 0	1.120 0	

表5 相对保留时间计算结果

仪器	色谱柱	ISQC	QUCI	QUCE	ELTS	SYAG	EPIG	SYGS	DAST	SIST
LC-20AC	Nucleodur C ₁₈	0.655 8	0.781 4	1.082 9	0.720 4	0.764 2	0.837 6	0.886 6	1.052 8	1.198 5
	Hypurity C ₁₈	0.661 3	0.796 2	1.095 6	0.731 5	0.776 9	0.849 1	0.893 2	1.067 1	1.207 7
	YMC Pro C ₁₈	0.672 1	0.808 9	1.101 8	0.743 1	0.784 3	0.853 6	0.901 5	1.073 9	1.213 9
H-Class	Nucleodur C ₁₈	0.646 7	0.770 1	1.062 3	0.712 4	0.750 1	0.821 4	0.872 8	1.040 3	1.184 1
	Hypurity C ₁₈	0.660 4	0.784 5	1.075 1	0.718 6	0.752 4	0.827 9	0.880 4	1.051 2	1.190 2
	YMC Pro C ₁₈	0.671 8	0.805 2	1.084 9	0.735 2	0.778 2	0.835 5	0.896 7	1.074 6	1.205 8
平均值		0.661 4	0.791 1	1.083 8	0.726 9	0.767 7	0.837 5	0.888 5	1.060 0	1.200 0
RSD/%		1.470 0	1.890 0	1.310 0	1.600 0	1.870 0	1.460 0	1.210 0	1.320 0	0.940 0

表6 合欢皮中11个成分含量测定结果的比较 (mg/g, n=3)

成分	方法	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	P
LUTL	ESM	0.972	1.486	1.311	1.094	1.241	1.371	0.991	1.344	1.608	1.409	0.951	0.813	1.173	0.881	0.792	-
OLAC	ESM	0.735	0.797	0.839	0.925	0.874	0.780	0.638	0.713	0.671	0.644	0.610	0.576	0.542	0.500	0.473	-
ISQC	ESM	0.639	0.628	0.711	0.689	0.705	0.723	0.471	0.652	0.596	0.526	0.813	0.998	0.852	0.978	0.916	0.880
	QAMS	0.621	0.635	0.740	0.674	0.689	0.712	0.463	0.634	0.583	0.541	0.796	0.990	0.839	0.960	0.891	
QUCI	ESM	4.814	4.729	4.892	4.425	4.733	5.251	3.946	4.134	3.702	3.721	5.754	5.762	5.837	6.245	5.862	0.893
	QAMS	4.679	4.864	4.780	4.307	4.617	5.114	4.038	4.022	3.725	3.648	5.633	5.883	5.998	6.116	5.757	
QUCE	ESM	0.198	0.291	0.272	0.268	0.257	0.251	0.190	0.176	0.124	0.119	0.191	0.233	0.162	0.201	0.149	0.941
	QAMS	0.203	0.284	0.279	0.262	0.250	0.244	0.195	0.179	0.127	0.116	0.187	0.227	0.158	0.196	0.153	
ELTS	ESM	0.349	0.226	0.271	0.331	0.309	0.251	0.259	0.229	0.174	0.209	0.391	0.415	0.428	0.471	0.452	0.903
	QAMS	0.341	0.220	0.266	0.322	0.303	0.258	0.255	0.223	0.179	0.204	0.384	0.404	0.422	0.479	0.441	
SYAG	ESM	0.851	0.940	1.071	0.897	0.996	1.074	0.684	0.686	0.513	0.598	1.439	1.496	1.340	1.586	1.338	0.948
	QAMS	0.828	0.914	1.097	0.880	0.983	1.045	0.703	0.667	0.527	0.582	1.431	1.484	1.378	1.542	1.324	
EPIG	ESM	0.463	0.475	0.419	0.422	0.449	0.472	0.375	0.381	0.362	0.364	0.585	0.609	0.573	0.626	0.571	0.860
	QAMS	0.451	0.462	0.431	0.410	0.441	0.463	0.366	0.392	0.370	0.355	0.570	0.595	0.559	0.610	0.582	
SYGS	ESM	0.137	0.168	0.152	0.159	0.165	0.164	0.124	0.121	0.109	0.114	0.217	0.193	0.211	0.225	0.184	0.946
	QAMS	0.134	0.172	0.148	0.155	0.161	0.168	0.121	0.118	0.112	0.116	0.213	0.197	0.205	0.220	0.189	
DAST	ESM	0.087	0.088	0.095	0.093	0.101	0.106	0.102	0.120	0.129	0.127	0.070	0.074	0.072	0.067	0.082	0.883
	QAMS	0.085	0.086	0.097	0.091	0.099	0.103	0.104	0.117	0.127	0.124	0.072	0.076	0.070	0.066	0.080	
SIST	ESM	0.528	0.420	0.526	0.645	0.616	0.472	0.539	0.322	0.275	0.259	0.852	0.816	0.781	0.892	0.924	0.927
	QAMS	0.543	0.409	0.515	0.632	0.602	0.485	0.527	0.314	0.283	0.252	0.831	0.809	0.773	0.876	0.905	

为一组, S11~S15聚为一组。

表7 15批合欢皮中ALSE、TOAS和ACIS检查结果 (% , n=2)

编号	ALSE	TOAS	ACIS	编号	ALSE	TOAS	ACIS
S1	19.3	2.4	0.3	S9	15.9	3.9	0.9
S2	18.9	3.1	0.2	S10	16.3	5.4	0.8
S3	19.4	2.9	0.5	S11	12.3	6.1	1.2
S4	19.6	2.6	0.4	S12	12.6	5.3	1.5
S5	20.3	3.3	0.7	S13	11.8	5.9	0.8
S6	20.7	3.2	0.6	S14	12.4	6.4	1.0
S7	15.6	4.3	0.5	S15	11.5	6.2	0.9
S8	15.1	4.1	0.4				

表8 合欢皮中2个主成分的特征值和方差贡献率

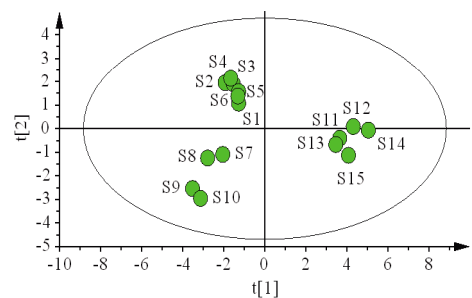
主成分	特征值	方差贡献率/%	累积方差贡献率/%
1	9.533	68.093	68.093
2	2.692	19.225	87.318

表9 合欢皮因子载荷矩阵

指标	因子载荷	
	主成分1	主成分2
ISQC	0.904	0.163
QUCI	0.939	0.246
LUTL	-0.768	-0.073
QUCE	-0.092	0.947
ELTS	0.941	0.126
SYAG	0.948	0.256
EPIG	0.970	0.137
SYGS	0.910	0.278

续表9:

指标	因子载荷	
	主成分1	主成分2
OLAC	-0.694	0.655
DAST	-0.865	-0.398
SIST	0.934	0.206
ALSE	-0.742	0.604
TOAS	0.742	-0.608
ACIS	0.690	-0.401



$R^2X[1]=0.681$ $R^2X[2]=0.192$ Ellipse: Hotelling's T^2 (95%)

图2 15批合欢皮的PCA得分图

2.8.2 正交偏最小二乘法-判别分析(OPLS-DA) 以15批合欢皮中14个指标含量数据为变量,在PCA基础上,运行SIMCA 14.1软件中的OPLS-DA程序,结果模型参数均大于0.5,表明稳定且预测能力强,OPLS-DA模型得分图提示15批合欢皮质量差异较大,且与PCA模型结果相似(见图3)。各指标的变量重要性投影(VIP)值的大小反映了该指标对产品质量影响的大小,其值越大,对产品质量差异贡献度越大。以VIP>1为筛

选标准,结果有5个成分可作为引起不同产地合欢皮之间质量差异的主要变量,其中:QUCI的VIP值=2.115 5、OLAC的VIP值=1.448 2、SYAG的VIP值=1.356 1、SIST的VIP值=1.014 1、QUCE的VIP值=1.004 6(见图4)。对OPLS-DA模型修改假设检验次数为200次,得到矩阵解释参数 $R^2=0.058 6$,预测能力参数 Q^2 的截距值为-0.510,表明建立的OPLS-DA模型未过拟合,可用于不同产地合欢皮的质量差异性标志物分析。(见图5)

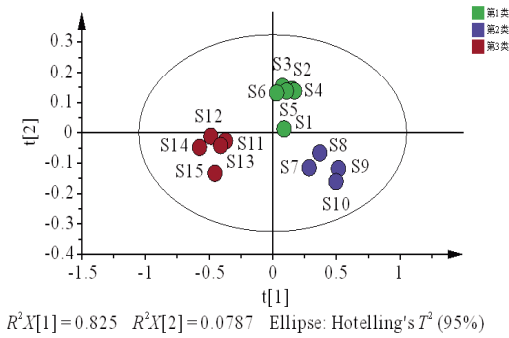
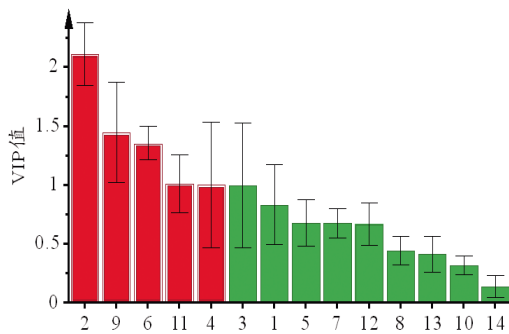


图3 15批合欢皮的OPLS-DA模型得分图



注:1.ISQC;2.QUCI;3.LUTL;4.QUCE;5.ELTS;6.SYAG;7.EPIG;8.SYGS;9.OLAC;10.DAST;11.SIST;12.ALSE;13.TOAS;14.ACIS。

图4 15批合欢皮中各成分VIP值

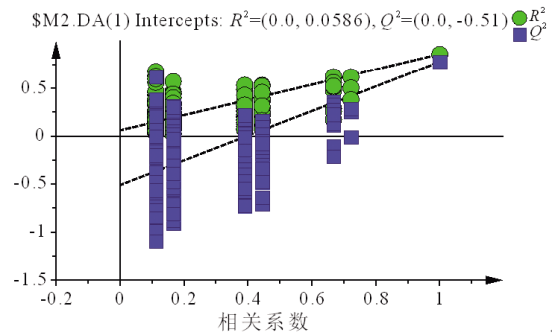


图5 15批合欢皮假设检验结果图

2.9 CRITIC-TOPSIS分析模块的建立

2.9.1 含量原始数据标准化处理 合欢皮中ISQC、QUCI、LUTL、QUCE、ELTS、SYAG、EPIG、SYGS、OLAC、DAST、SIST、ALSE为正向指标,TOAS和ACIS为逆向指标,各指标含量数据差异较大,且量纲不统一,分别使用正向指标公式 $Y_{ij} = \frac{Y_{ij} - \min(x_j)}{\max(x_j) - \min(x_j)}$ 、逆向指标公式 $Y_{ij} = \frac{\max(x_j) - X_{ij}}{\max(x_j) - \min(x_j)}$ 对含量原始数据进行标准化处理^[19],结果见表10。

2.9.2 CRITIC法计算权重 标准差越大则权重越大。本研究使用标准差来衡量变异性,采用公式: $X_j = \sum_{i=1}^n X_{ij} / n$ 和 $S_j = \sqrt{\sum_{i=1}^n (X_{ij} - X_j)^2 / (n-1)}$ 计算各指标归一化后的平均值(X_j)及变异性(S_j)。采用公式: $R_j = \sum_{i=1}^n (1 - r_{ij})$ 、 $(C_j) = S_j \times R_j$ 、 $w_j = \frac{C_j}{\sum_{i=1}^n C_j}$ 计算冲突性(R_j)、信息量(C_j)、权重(w_j),则ISQC、QUCI、LUTL、QUCE、ELTS、SYAG、EPIG、SYGS、OLAC、DAST、SIST、ALSE、TOAS、ACIS的权重分别为0.057 6、0.066 4、0.084 8、0.057 6、0.065 8、0.065 1、0.071 1、0.066 2、0.067 8、0.096 7、0.067 9、0.084 2、0.082 0、0.066 7。

2.9.3 CRITIC-TOPSIS法质量评价 将14个指标的权重与标

表10 原始数据标准化处理结果

编号	ISQC	QUCI	LUTL	QUCE	ELTS	SYAG	EPIG	SYGS	OLAC	DAST	SIST	ALSE	TOAS	ACIS
S1	0.299 8	0.417 7	0.220 6	0.517 9	0.540 0	0.296 6	0.376 5	0.203 7	0.579 6	0.311 5	0.445 6	0.847 8	1.000 0	0.923 1
S2	0.326 4	0.492 7	0.850 5	1.000 0	0.136 7	0.381 3	0.419 6	0.555 6	0.716 8	0.327 9	0.240 4	0.804 3	0.825 0	1.000 0
S3	0.525 6	0.458 7	0.636 0	0.970 2	0.290 0	0.561 6	0.298 0	0.333 3	0.809 7	0.508 2	0.402 8	0.858 7	0.875 0	0.769 2
S4	0.400 4	0.267 0	0.370 1	0.869 0	0.476 7	0.347 8	0.215 7	0.398 1	1.000 0	0.409 8	0.581 9	0.880 4	0.950 0	0.846 2
S5	0.428 8	0.392 6	0.550 2	0.797 6	0.413 3	0.449 3	0.337 3	0.453 7	0.887 2	0.541 0	0.536 0	0.956 5	0.775 0	0.615 4
S6	0.472 5	0.594 0	0.709 6	0.761 9	0.263 3	0.510 3	0.423 5	0.518 5	0.679 2	0.606 6	0.356 8	1.000 0	0.800 0	0.692 3
S7	0.000 0	0.158 0	0.243 9	0.470 2	0.253 3	0.173 4	0.043 1	0.083 3	0.365 0	0.623 0	0.421 1	0.445 7	0.525 0	0.769 2
S8	0.324 5	0.151 5	0.676 5	0.375 0	0.146 7	0.137 9	0.145 1	0.055 6	0.531 0	0.836 1	0.094 9	0.391 3	0.575 0	0.846 2
S9	0.227 7	0.031 2	1.000 0	0.065 5	0.000 0	0.000 0	0.058 8	0.000 0	0.438 1	1.000 0	0.047 5	0.478 3	0.625 0	0.461 5
S10	0.148 0	0.000 0	0.756 1	0.000 0	0.083 3	0.054 2	0.000 0	0.037 0	0.378 3	0.950 8	0.000 0	0.521 7	0.250 0	0.538 5
S11	0.631 9	0.804 3	0.194 9	0.422 6	0.683 3	0.890 6	0.843 1	0.935 2	0.303 1	0.098 4	0.886 7	0.087 0	0.075 0	0.230 8
S12	1.000 0	0.905 6	0.025 7	0.660 7	0.750 0	0.942 9	0.941 2	0.787 0	0.227 9	0.163 9	0.853 0	0.119 6	0.275 0	0.000 0
S13	0.713 5	0.952 2	0.466 9	0.250 0	0.810 0	0.838 4	0.800 0	0.861 1	0.152 7	0.065 6	0.797 9	0.032 6	0.125 0	0.538 5
S14	0.943 1	1.000 0	0.109 1	0.476 2	1.000 0	1.000 0	1.000 0	1.000 0	0.059 7	0.000 0	0.955 6	0.097 8	0.000 0	0.384 6
S15	0.812 1	0.854 5	0.000 0	0.220 2	0.873 3	0.785 2	0.890 2	0.713 0	0.000 0	0.229 5	1.000 0	0.000 0	0.050 0	0.461 5

表 11 CRITIC-矩阵

编号	ISQC	QUCI	LUTL	QUCE	ELTS	SYAG	EPIG	SYGS	OLAC	DAST	SIST	ALSE	TOAS	ACIS
S1	0.017 3	0.027 7	0.018 7	0.029 8	0.035 5	0.019 3	0.026 8	0.013 5	0.039 3	0.030 1	0.030 3	0.071 4	0.082 0	0.061 6
S2	0.018 8	0.032 7	0.072 1	0.057 6	0.009 0	0.024 8	0.029 8	0.036 8	0.048 6	0.031 7	0.016 3	0.067 7	0.067 7	0.066 7
S3	0.030 3	0.030 5	0.053 9	0.055 9	0.019 1	0.036 6	0.021 2	0.022 1	0.054 9	0.049 1	0.027 4	0.072 3	0.071 8	0.051 3
S4	0.023 1	0.017 7	0.031 4	0.050 1	0.031 4	0.022 6	0.015 3	0.026 4	0.067 8	0.039 6	0.039 5	0.074 1	0.077 9	0.056 4
S5	0.024 7	0.026 1	0.046 7	0.045 9	0.027 2	0.029 2	0.024 0	0.030 0	0.060 2	0.052 3	0.036 4	0.080 5	0.063 6	0.041 0
S6	0.027 2	0.039 4	0.060 2	0.043 9	0.017 3	0.033 2	0.030 1	0.034 3	0.046 0	0.058 7	0.024 2	0.084 2	0.065 6	0.046 2
S7	0.000 0	0.010 5	0.020 7	0.027 1	0.016 7	0.011 3	0.003 1	0.005 5	0.024 7	0.060 2	0.028 6	0.037 5	0.043 1	0.051 3
S8	0.018 7	0.010 1	0.057 4	0.021 6	0.009 7	0.009 0	0.010 3	0.003 7	0.036 0	0.080 9	0.006 4	0.032 9	0.047 2	0.056 4
S9	0.013 1	0.002 1	0.084 8	0.003 8	0.000 0	0.000 0	0.004 2	0.000 0	0.029 7	0.096 7	0.003 2	0.040 3	0.051 3	0.030 8
S10	0.008 5	0.000 0	0.064 1	0.000 0	0.005 5	0.003 5	0.000 0	0.002 4	0.025 6	0.091 9	0.000 0	0.043 9	0.020 5	0.035 9
S11	0.036 4	0.053 4	0.016 5	0.024 3	0.045 0	0.058 0	0.059 9	0.061 9	0.020 6	0.009 5	0.060 2	0.007 3	0.006 2	0.015 4
S12	0.057 6	0.060 1	0.002 2	0.038 1	0.049 4	0.061 4	0.066 9	0.052 1	0.015 5	0.015 8	0.057 9	0.010 1	0.022 6	0.000 0
S13	0.041 1	0.063 2	0.039 6	0.014 4	0.053 3	0.054 6	0.056 9	0.057 0	0.010 4	0.006 3	0.054 2	0.002 7	0.010 3	0.035 9
S14	0.054 3	0.066 4	0.009 3	0.027 4	0.065 8	0.065 1	0.071 1	0.066 2	0.004 0	0.000 0	0.064 9	0.008 2	0.000 0	0.025 7
S15	0.046 8	0.056 7	0.000 0	0.012 7	0.057 5	0.051 1	0.063 3	0.047 2	0.000 0	0.022 2	0.067 9	0.000 0	0.004 1	0.030 8

准化处理数据对应相乘得CRITIC-TOPSIS决策矩阵(见表11),确定最优方案(Z_j^+),最小值为最劣方案(Z_j^-),利用公式 $D_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (Z_{ij} - Z_j^+)^2}$, $D_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (Z_{ij} - Z_j^-)^2}$, $C_i = \frac{D_i^-}{D_i^+ + D_i^-}$ 计算各指标到最优、最劣方案的距离(D_i^+)、(D_i^-)及各指标的最优解的欧氏贴近度(C_i),根据 C_i 值对不同产地合欢皮质量进行排序^[20],结果见表12。排名前6位合欢皮为S1~S6,表明这些产地的合欢皮整体质量较好。

表 12 15批合欢皮品质排序

编号	D_i^+	D_i^-	C_i	排序
S1	0.151 2	0.154 3	0.505 1	6
S2	0.134 0	0.173 6	0.564 4	4
S3	0.122 4	0.172 4	0.584 8	2
S4	0.135 8	0.171 0	0.557 4	5
S5	0.121 0	0.168 9	0.582 6	3
S6	0.114 2	0.176 1	0.606 6	1
S7	0.183 7	0.112 5	0.379 8	15
S8	0.172 1	0.137 4	0.443 9	12
S9	0.190 3	0.151 2	0.442 8	13
S10	0.199 7	0.130 3	0.394 8	14
S11	0.176 6	0.149 4	0.458 3	10
S12	0.174 9	0.162 0	0.480 9	8
S13	0.170 7	0.155 7	0.477 0	9
S14	0.185 0	0.176 5	0.488 2	7
S15	0.186 3	0.154 2	0.452 9	11

3 讨 论

3.1 提取溶剂及方法的选择 本试验选择提取溶剂及方法时,以11个待测成分的含量为指标,考察了40%、50%、60%、70%甲醇超声处理40、50、60、70 min。结果以50%甲醇超声处理60 min时,以上11个成分的含量最高,杂质干扰最小。

3.2 检测波长的确定 合欢皮中黄酮类成分ISQC、QUCI、

LUTL和QUCE,木脂素类成分ELTS、SYAG、EPIG和SYGS,萜类化合物OLAC及甾醇类成分DAST和SIST紫外吸收主要集中在200~400 nm波段。在采用紫外扫描法对混合对照品溶液检测时,发现ISQC、QUCI、LUTL和QUCE在360 nm处均有较大吸收,ELTS、SYAG、EPIG、SYGS、OLAC、DAST和SIST均存在末端吸收,故采用210 nm检测这6个成分。

3.3 检测指标及内参物的选择 合欢皮所含化学成分主要涉及黄酮类、木脂素类、萜类、甾醇类等物质。研究发现,合欢皮抗焦虑成分主要为黄酮类及木脂素化合物,其黄酮类化学成分的主要活性物质有ISQC、QUCI、LUTL、QUCE等,木脂素化合物的代表性成分有ELTS、SYAG、EPIG、SYGS等^[21-22]。三萜类化合物具有抗肿瘤、抗病毒、抗菌、抗炎、护肝及保护神经等多种药理活性^[23],合欢皮中三萜类化合物有OLAC等。合欢皮中甾醇类化合物DAST具有良好的抗肿瘤、抗氧化及保护神经等药理作用^[24],SIST在抗菌、抗炎、抗氧化、抗动脉粥样硬化、降脂、抗脱发、抗抑郁、抗衰老、调节骨代谢等方面具有生理活性^[25]。这些活性物质的含量也可能影响中药材的质量,故本研究以ISQC、QUCI、LUTL、QUCE、ELTS、SYAG、EPIG、SYGS、OLAC、DAST和SIST含量为指标,对不同产地合欢皮质量进行了评价。同时结合《中华人民共和国药典》对ALSE、TOAS和ACIS同时进行了检查。本试验在选择内参物时,遵循对照品化学性质稳定、价格低廉、含量适中、色谱峰保留时间适中的原则,选择LUTL和OLAC为内参物,建立的相对校正因子耐用性良好,相对保留时间法可用于色谱峰识别定位,相对校正因子的均值可用于各成分的定量分析,利用相对校正因子计算各成分含量与外标法无显著差异,方法准确可靠。同时检测合欢皮11个成分,较外标法检测多指标成分,降低了检验成本,缩短了检验周期,利于合欢皮多指标定量方法的普及。

3.4 合欢皮多指标QAMS法定量质量标准制定分析 本试验结果显示,以LUTL和OLAC为内参物时,15批合欢皮中ISQC、QUCI、LUTL、QUCE、ELTS、SYAG、EPIG、SYGS、OLAC、DAST和SIST的QAMS法含量计算结果与外标法接近,含量分别为(0.722±

0.152)、(4.900±0.825)、(1.162±0.257)、(0.205±0.053)、(0.316±0.094)、(1.030±0.335)、(0.473±0.090)、(0.162±0.037)、(0.688±0.137)、(0.094±0.019)和(0.587±0.216) mg/g, 考虑到合欢皮中化学成分受产地气候、合欢树生长环境等影响较大, 同时样品采集数量有限, 涉及的产地有限, 建议暂以各成分含量均值的60%为限度对合欢皮进行质量控制, 即合欢皮中含ISQC不得低于0.43 mg/g、QUCI不得低于2.94 mg/g、LUTL不得低于0.70 mg/g、QUCE不得低于0.12 mg/g、ELTS不得低于0.19 mg/g、SYAG不得低于0.62 mg/g、EPIG不得低于0.28 mg/g、SYGS不得低于0.10 mg/g、OLAC不得低于0.41 mg/g、DAST不得低于0.06 mg/g和SIST不得低于0.35 mg/g。

3.5 评价结果分析 在建立的HPLC条件下, 本试验首先进行了外标法方法学验证, 结果各验证指标均符合2025年版《中华人民共和国药典》要求; 采用QAMS和ESM法对比了15批合欢皮中11个成分的含量差异, 结果2种方法未见显著差异。化学计量学对15批合欢皮中14个指标测量值的分析中PCA得分图显示15批样品聚为3类, 显示相邻产区的合欢皮质量较为相近; 同时VIP>1的组分为QUCI、OLAC、SYAG、SIST和QUCE, 表明以上5个成分显著影响了合欢皮质量, 可作为其质量差异标志物。利用CRITIC法赋值后, 建立的TOPSIS法分析结果显示, 15批合欢皮的相对贴近度(C_i)在0.379 8~0.606 6之间, 表明各批次间合欢皮质量存在一定的差异, 其中S1~S6批次的 C_i 值均大于0.5。本研究采用QAMS、化学计量学及CRITIC-TOPSIS法相结合的方法对不同产地的15批合欢皮进行了综合质量评价, 评价结果较单独使用QAMS法定量检测更科学直观。化学计量学对样品分类与CRITIC-TOPSIS法分级分组相互印证, QAMS法定量结果与CRITIC-TOPSIS法优劣性排序结果相互印证, 更具说服力。本研究存在的局限为: 仅从合欢皮所含化学成分的角度对其质量进行了评价, 未对各成分的药理活性及药效学进行研究。后期研究将重点对5个质量差异物的药理活性及药效学进行研究, 探究合欢皮的药效物质基础。合欢为多年生木本植物, 生长年限、生长环境及采收时间是影响其质量的重要因素, 而本次研究未考察生长年限、生长环境及采收时间对其质量的影响, 后期将进行相关研究。本研究所收集的样品数量有限, 未来需收集更多批次的样品, 扩大样品采集地范围, 并进行相关性研究, 对所建方法进行验证, 以进一步丰富合欢皮饮片质量评价体系。

4 结 论

本研究基于合欢皮中多指标成分定量的化学计量学联合CRITIC-TOPSIS法质量评价模型, 为丰富合欢皮的质量标准提供技术参考, 为其质量差异性分析评价奠定基础。

参考文献

[1] 王晓宇, 吴萍, 郭俊霞, 等. 合欢花本草考证[J]. 中成药, 2022, 44(8): 2613-2618.
 [2] 李银, 聂雨杉, 彭潇, 等. 合欢花HPLC指纹图谱模式识别及含量测定研究[J]. 中国民族民间医药, 2020, 29(18): 46-51.
 [3] 杨静, 崔晓雪, 陈娜, 等. 合欢皮的化学成分研究[J]. 天津化工, 2022, 36(2): 35-37.
 [4] 朱震琳, 宋永贵, 艾志福, 等. 合欢不同药用部位的化学成分组成与分布特征研究[J]. 中国现代应用药学, 2025, 42(8):

1311-1319.

[5] 王丽梅, 邱红汉, 周涛. 合欢的不同部位挥发性成分比较研究[J]. 中国药师, 2016, 19(6): 1081-1084.
 [6] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典: 一部[S]. 北京: 中国医药科技出版社, 2025: 153-154.
 [7] 王怡涵, 桑希生. 合欢皮治疗抑郁症作用机制的研究进展[J]. 中国临床保健杂志, 2024, 27(5): 711-716.
 [8] 仇亚茹. 合欢皮总皂苷的提取工艺及其抗肿瘤活性研究[J]. 菏泽医学专科学校学报, 2024, 36(1): 17-20, 33.
 [9] 蔚冬红, 乔善义, 赵毅民. 中药合欢皮研究概况[J]. 中国中药杂志, 2004, 29(7): 619-624.
 [10] 杨磊, 李棣华. 合欢皮化学成分与药理活性及毒理学研究进展[J]. 中国中西医结合外科杂志, 2019, 25(6): 1061-1064.
 [11] 郑正, 付鹏. 一测多评法同时测定血府逐瘀胶囊中7种成分的含量[J]. 中医导报, 2021, 27(9): 69-72, 85.
 [12] 久欣, 张慧文, 刘宏, 等. 化学计量学方法在中药质量标志物中的应用[J]. 中成药, 2021, 43(12): 3416-3421.
 [13] 闫嘉, 李荣, 姬生国. CRITIC-逼近理想解排序法综合评价益智药材的质量[J]. 华西药学杂志, 2024, 39(3): 299-302.
 [14] 徐齐利. TOPSIS综合评价系统设计与实现[J]. 信息与管理研究, 2020, 5(增刊): 70-81.
 [15] 张美琴, 王云, 贾哲, 等. 基于熵权-TOPSIS对不同产地桑白皮药材的品质评价[J]. 中国实验方剂学杂志, 2023, 29(13): 130-139.
 [16] 冯亚茹, 周荣荣, 耿佳乐, 等. 一测多评法同时测定大黄药材中8个结合型蒽醌含量的系统研究[J]. 药物分析杂志, 2022, 42(11): 1884-1894.
 [17] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典: 四部[S]. 北京: 中国医药科技出版社, 2025: 307, 309.
 [18] 石国丽, 王新风, 李蔚群, 等. 基于HPLC指纹图谱和多成分含量测定结合化学计量学的鬼针草药材质量评价研究[J]. 中国中药杂志, 2025, 50(14): 3944-3950.
 [19] 凌花, 黄福高. 基于CRITIC-TOPSIS模型的长三角地区物流竞争力研究[J]. 商业经济研究, 2024(23): 85-88.
 [20] 张立群, 马诗瑜, 冯恺, 等. HPLC多指标成分定量结合化学计量学、加权TOPSIS模型评价不同产地肺形草质量[J]. 现代药物与临床, 2024, 39(5): 1176-1183.
 [21] 梁雨璐, 张洁, 李忆红, 等. 整合网络毒理学和网络药理学的合欢皮抗焦虑毒效机制探究[J]. 药物评价研究, 2021, 44(7): 1411-1424.
 [22] 田微. 合欢皮提取物抗焦虑活性筛选及其对脑内神经递质的影响[D]. 武汉: 湖北中医药大学, 2015.
 [23] 何诗能, 张清, 谭珍媛, 等. 三萜类化合物结构修饰及活性研究进展[J]. 化学试剂, 2023, 45(5): 41-50.
 [24] 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): 722-724.
 [25] 陈元堃, 曾奥, 罗振辉, 等. β -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.

(收稿日期: 2025-09-05 编辑: 罗英姣)