基于多指标定量、化学计量学及灰色关联度分析的不同产地凌霄花综合质量评价

褚书豪[1]，王晓波[2]，汪小彩[1*]（1.河南中医药大学第三附属医院药学部，河南 郑州 450008；2.河南中医药大学药学院，河南 郑州 450046）

摘要：目的 基于凌霄花中多指标含量，探究凌霄花质量差异要素，并综合评价不同产地凌霄花质量。**方法** 采集江苏、浙江等产地18批凌霄花，以凌霄花中毛蕊花糖苷、异麦角甾苷、芹菜素、木犀草素、槲皮素、鼠李柠檬素、山楂酸、常春藤皂苷元、齐墩果酸、熊果酸、水溶性浸出物、总灰分和酸不溶性灰分含量为质量评价指标，借助统计学方法，对不同产地凌霄花药材之间的差异进行表征。结合化学计量学和灰色关联度分析法2种数学模型对13个质量评价指标进行统计分析，获得不同产地凌霄花质量排名信息。**结果** 不同产地凌霄花中13个指标含量存在一定的波动，建立的多指标定量方法准确可行。质量评估模型结果显示，18批凌霄花按产地分为3组，齐墩果酸、熊果酸、槲皮素和毛蕊花糖苷是影响凌霄花药材质量的主要要素，以江苏产地的凌霄花质量较优。**结论** 不同产地凌霄花中多指标含量存在差异，建立的质量评估方法可对不同产地凌霄花进行区分，并特异性识别差异性成分，为凌霄花的质量评价提供参考。

关键词：凌霄花；高效液相色谱法；灰色关联度分析法；PCA；OPLS-DA；综合评价

中图分类号：R917　　**文献标志码：**A　　**文章编号：**1674-229X（2026）04-0270-06

Doi：10.12048/j.issn.1674-229X.2026.04.004

Comprehensive Quality Evaluation of Campsis Flos From Different Origins Based on Multi-Index Quantification,Chemometrics and Grey Relational Analysis

CHU Shuhao[1], WANG Xiaobo[2], WANG Xiaocai[1*]（1.*Department of Pharmacy, Third Affiliated Hospital of Henan University of Chinese Medicine, Zhengzhou, Henan* 450008, *China*; 2.*School of Pharmacy, Henan University of Chinese Medicine, Zhengzhou, Henan* 450046, *China*）

ABSTRACT: OBJECTIVE To investigate the elements of quality difference in Campsis flos based on multi-index content, and to comprehensively evaluate the quality of Campsis flos from different producing areas based on multi-index content. **METHODS** Eighteen batches of Campsis flos were collected from *Jiangsu*, *Zhejiang* and other producing areas. The contents of verbascoside, isoacteoside, apigenin, luteolin, quercetin, rhamnocitrin, maslinic acid, hederagenin, oleanolic acid , ursolic acid, water-soluble extract, total ash and acid-insoluble ash in Campsis flos were used as quality evaluation indexes, the differences from different producing areas were analyzed and characterized by statistical methods. 13 quality evaluation indexes were statistically analyzed by two mathematical models of chemometrics and grey relational analysis (GRA), and the ranking information of the quality of Campsis flos from different producing areas was obtained. **RESULTS** There were some fluctuations in the contents of 13 indexes in Campsis flos from different producing areas, and the established multi-index quantitative method was accurate and feasible. The results of quality evaluation model showed that 18 batches of Campsis flos were divided into three groups according to the origins. Oleanolic acid, ursolic acid, quercetin and verbascoside were the main factors affecting the quality of Campsis flos. The quality of Campsis flos from Jiangsu was better. **CONCLUSION** There are differences in the content of multiple indexes in Campsis flos from different origin. The established quality evaluation method can distinguish Campsis flos from different origins, and specifically identify the different components, so as to provide reference for the quality evaluation of Campsis flos (including those from different producing areas).

KEYWORDS: Campsis flos; HPLC; GRA; PCA; OPLS-DA; comprehensive evaluation

基金项目：河南省高等学校重点科研指导计划项目（20B550007）

作者简介：褚书豪，主管中药师，研究方向：中药学　　*通信作者：汪小彩，主管药师，研究方向：药物质量评价及医院药学，E-mail：nawz86@163.com

凌霄花为紫葳科植物凌霄 *Campsis grandiflora*（Thunb.）K.Schum.或美洲凌霄 *Campsis radicans*（L.）Seem.的干燥花，在我国江苏、浙江、河北、山东、广东、河南、福建等地有分布[1,2]，主要含有苯丙素类、黄酮类、三萜类、多酚类和花色素类成分等多种化合物[3-5]，现代研究发现凌霄花有抗凝血、抗氧化、抗抑郁、脑保护、抗炎镇痛[6-8]等作用。常用于月经不调，经闭癥瘕，产后乳肿，风疹发红，皮肤瘙痒，痤疮等症[9-11]。2020年版中国药典一部对凌霄花的质量控制仅限性状、鉴别、水分、总灰分和酸不溶性灰分的检查，未涉及含量测定项。与凌霄花质量控制相关的文献报道也只对凌霄花中1~3个成分进行了定量控制[2,4,12,13]。高效液相色谱法（high performance liquid chromatography，HPLC）分离效能高、检测能力高度灵敏，在中药质量控制领域得到了广泛应用[14]。化学计量学具有对高维数据降维、分类和识别等功能[15,16]，越来越多地用于中药质量评估。灰色关联度分析（GRA）法[17,18]依据数据序列曲线的相似程度分析因子间的量化和序化，预测精度高，也越来越多地用于评价中药质量。本研究采用HPLC法建立18批凌霄花药材中毛蕊花糖苷、异麦角甾苷、芹菜素、木犀草素、槲皮素、鼠李柠檬素、山楂酸、常春藤皂苷元、齐墩果酸和熊果酸含量检测方法，这10个成分涉及到苯丙素类、黄酮类和三萜类，并检测了水溶性浸出物、总灰分和酸不溶性灰分的含量，以毛蕊花糖苷、异麦角甾苷、芹菜素、木犀草素、槲皮素、鼠李柠檬素、山楂酸、常春藤皂苷元、齐墩果酸、熊果酸、水溶性浸出物、总灰分和酸不溶性灰分为评价指标，采用化学计量学与GRA法对13个指标含量数据建立凌霄花综合质量评价模型，获得不同产地凌霄花质量优劣排名，旨为凌霄花的道地性开发提供参考，也为凌霄花综合质量评价奠定基础。

1 材料

1.1 试药

对照品熊果酸（批号：110742-202424，含量：99.7%）、槲皮素（批号：100081-202411，含量：98.7%）、常春藤皂苷元（批号：111733-201205，含量：98.3%）、芹菜素（批号：111901-202205，含量：98.4%）、毛蕊花糖苷（批号：111530-202315，含量：97.6%）、异麦角甾苷（批号：112112-202401，含量：97.0%）、木犀草素（批号：111520-202107，含量：96.3%）和齐墩果酸（批号：110709-202109，含量：95.8%）均由中国食品药品检定研究院供给；山楂酸（批号：PRF9082922，含量：99.8%）和鼠李柠檬素（批号：PRF24121303，含量：98.2%）由成都普瑞法科技开发有限公司供给；凌霄花药材采集地信息见表1；色谱级乙腈和磷酸源于美国VSA公司，甲醇为分析纯。

1.2 仪器

UltiMate 3000高效液相色谱仪（美国赛默飞世尔科技公司）；ME24102/XS205Du分析天平（瑞士梅特勒公司）。

2 方法与结果

2.1 方法学验证

2.1.1 色谱条件　采用Kromasil C_{18}柱（250 mm×4.6 mm，5 μm），柱温为30 ℃；毛蕊花糖苷、异麦角甾苷、芹菜素、木犀草素、槲皮素和鼠李柠檬素在334 nm波长处检测，山楂酸、常春藤皂苷元、齐墩果酸和熊果酸在210 nm波长处检测；乙腈-0.2%磷酸为流动相梯度洗脱（0~8 min，16.0%乙腈；8~29 min，16.0%→42.0%乙腈；29~52 min，42.0%→85.0%乙腈；52~60 min，85.0%→16.0%乙腈）；进样量10 μL，流速1.0 mL·min^{-1}。结果混合对照品溶液及供试品溶液色谱图显示指标成分色谱峰对称

表1 凌霄花药材信息

编号	采集地	采集时间	编号	采集地	采集时间
S1	江苏常熟市	2024年8月	S10	河北涿鹿县	2024年8月
S2	江苏灌南县	2024年8月	S11	山东梁山县	2024年9月
S3	江苏连云区	2024年8月	S12	山东费县	2024年9月
S4	江苏太仓市	2024年8月	S13	山东邹平市	2024年9月
S5	浙江文成县	2024年9月	S14	广东连南县	2024年8月
S6	浙江松阳县	2024年9月	S15	广东和平县	2024年8月
S7	河南辉县	2024年8月	S16	广东徐闻县	2024年8月
S8	河南商城县	2024年8月	S17	福建永安市	2024年9月
S9	河北蔚县	2024年8月	S18	福建武平县	2024年9月

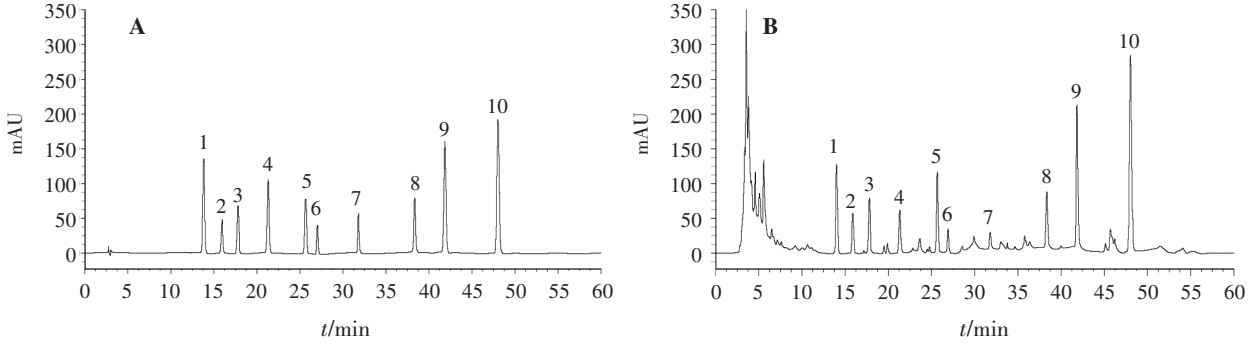
性良好，分离度良好，理论板数按各成分计均大于5 500（图1）。

2.1.2 混合对照品溶液制备 精密称取毛蕊花糖苷、异麦角甾苷、芹菜素、木犀草素、槲皮素、鼠李柠檬素、山楂酸、常春藤皂苷元、齐墩果酸和熊果酸对照品适量，70%甲醇溶解，制成每mL分别含0.532、0.176、0.290、0.204、0.498、0.112、0.068、0.376、0.690和0.812 mg的混合贮备液。精密吸取贮备液1 mL，定容于20 mL量瓶，制成毛蕊花糖苷的浓度为26.60 μg·mL^{-1}、异麦角甾苷的浓度为8.80 μg·mL^{-1}、芹菜素的浓度为14.50 μg·mL^{-1}、木犀草素的浓度为10.20 μg·mL^{-1}、槲皮素的浓度为24.90 μg·mL^{-1}、鼠李柠檬素的浓度为5.60 μg·mL^{-1}、山楂酸的浓度为3.40 μg·mL^{-1}、常春藤皂苷元的浓度为18.80 μg·mL^{-1}、齐墩果酸的浓度为34.50 μg·mL^{-1}、熊果酸的浓度为40.60 μg·mL^{-1}的混合对照品溶液。

2.1.3 供试品溶液制备 取凌霄花（S1～S18）粉末0.5 g，精密称定，精密加70%甲醇25 mL，称重，超声30 min，放至室温，补重，摇匀，过滤，即得。

2.1.4 线性关系考察 精密量取“2.1.2”项制备的贮备液，按照一定的比例稀释成6个质量浓度的混合对照品溶液（编号1～6），按照“2.1.1”项下色谱条件进样检测，以毛蕊花糖苷、异麦角甾苷、芹菜素、木犀草素、槲皮素、鼠李柠檬素、山楂酸、常春藤皂苷元、齐墩果酸和熊果酸对照品质量浓度为横轴，相应峰面积为纵轴，得到各成分的线性回归方程和线性范围。取线性关系考察溶液6，用70%甲醇倍比稀释，进样检测，以信噪比10∶1对应的质量浓度作为定量限，以信噪比3∶1对应的质量浓度作为检测限。结果见表2。

2.1.5 精密度、重复性及稳定性试验 按“2.1.3”项下方法制备1份供试品溶液，按照“2.1.1”项下色谱条件连续进样6次，计算毛蕊花糖苷、异麦角甾苷、芹菜素、木犀草素、槲皮素、鼠李柠檬素、山楂酸、常春藤皂苷元、齐墩果酸和熊果酸峰面积的*RSD*≤1.76%（n=6），表明仪器精密度能满足检测要求。



注：A.对照品；B.供试品；1.毛蕊花糖苷；2.异麦角甾苷；3.芹菜素；4.木犀草素；5.槲皮素；6.鼠李柠檬素；7.山楂酸；8.常春藤皂苷元；9.齐墩果酸；10.熊果酸。

图1 高效液相色谱图

表2 10种成分的线性关系

成分	回归方程	线性范围/μg·mL^{-1}	r	检出限/μg·mL^{-1}	定量限/μg·mL^{-1}
毛蕊花糖苷	Y=3.802 4×10^6X+1 362.7	2.660～133.0	0.999 4	0.167	0.560
异麦角甾苷	Y=1.530 1×10^6X−764.5	0.880～44.00	0.999 9	0.059	0.193
芹菜素	Y=2.736 5×10^6X−627.8	1.450～72.50	0.999 1	0.071	0.232
木犀草素	Y=1.985 7×10^6X+893.1	1.020～51.00	0.999 8	0.062	0.211
槲皮素	Y=3.155 4×10^6X+1 027.2	2.490～124.5	0.999 5	0.104	0.349
鼠李柠檬素	Y=9.367 9×10^5X+461.5	0.5600～28.00	0.999 6	0.039	0.114
山楂酸	Y=6.297 4×10^5X−772.8	0.3400～17.00	0.999 3	0.051	0.158
常春藤皂苷元	Y=2.402 6×10^6X+297.4	1.880～94.00	0.999 7	0.136	0.451
齐墩果酸	Y=3.571 2×10^6X+869.9	3.450～172.5	0.999 5	0.178	0.595
熊果酸	Y=4.525 8×10^{6}X+607.3	4.060～203.0	0.999 4	0.152	0.503

取凌霄花（S7）6份，分别按“2.1.3”项下方法平行制成供试品溶液，按照“2.1.1”项色谱条件进样，计算毛蕊花糖苷、异麦角甾苷、芹菜素、木犀草素、槲皮素、鼠李柠檬素、山楂酸、常春藤皂苷元、齐墩果酸和熊果酸含量的*RSD*≤1.89%（n=6），表明方法重复性良好。取重复性试验项下一份供试品溶液，分别于0、4、8、12、16、20、24 h进样，计算毛蕊花糖苷、异麦角甾苷、芹菜素、木犀草素、槲皮素、鼠李柠檬素、山楂酸、常春藤皂苷元、齐墩果酸和熊果酸峰面积的*RSD*≤1.85%（n=7），表明在室温条件下，供试品溶液在24 h内稳定性良好。

2.1.6 加样回收试验 取0.25 g已知毛蕊花糖苷、异麦角甾苷、芹菜素、木犀草素、槲皮素、鼠李柠檬素、山楂酸、常春藤皂苷元、齐墩果酸和熊果酸含量的凌霄花（S7），精密称定，平行9份，精密加入混合对照品溶液（每mL含毛蕊花糖苷0.307 mg、异麦角甾苷0.098 mg、芹菜素0.145 mg、木犀草素0.112 mg、槲皮素0.247 mg、鼠李柠檬素0.058 mg、山楂酸0.036 mg、常春藤皂苷元0.211 mg、齐墩果酸0.443 mg和熊果酸0.574 mg）0.8、1.0、1.2 mL，按照“2.1.3”项下方法制成供试品溶液，每个水平3份，进样，计算10个成分的平均加样回收率（*RSD*）分别为98.86%（1.31%）、97.95%（1.29%）、99.31%（1.47%）、100.01%（1.02%）、99.75%（0.64%）、96.91%（1.09%）、97.50%（1.36%）、99.50%（1.18%）、100.10%（0.66%）和100.08%（0.78%），符合规定。

2.1.7 样品含量测定 取18批凌霄花供试品溶液，按“2.1.1”项下色谱条件进样，计算毛蕊花糖苷、异麦角甾苷、芹菜素、木犀草素、槲皮素、鼠李柠檬素、山楂酸、常春藤皂苷元、齐墩果酸和熊果酸的含量，结果见表3。

2.2 水溶性浸出物、总灰分和酸不溶性灰分检测[19]

取18批凌霄花样品，检测样品中水溶性浸出物、总灰分和酸不溶性灰分含量，分别参照2020年版中国药典四部通则2201中水溶性浸出物测定法（冷浸法）、2302灰分测定法测定。结果见表4。

2.3 化学计量学质量评价体系的建立

2.3.1 主成分分析（PCA）[20] 以18批凌霄花中毛蕊花糖苷、异麦角甾苷、芹菜素、木犀草素、槲皮素、鼠李柠檬素、山楂酸、常春藤皂苷元、齐墩果酸、熊果酸、水溶性浸出物、总灰分和酸不溶性灰分含量数据为矩阵变量，利用SPSS 26.0进行分类简化，得到2个主成分（见表5）。其中主成分1特征值为10.107，贡献率为77.747%，代表性指标为毛蕊花糖苷、异麦角甾苷、芹菜素、木犀草素、槲皮素、鼠李柠檬素、常春藤皂苷元、齐墩果酸、熊果酸、水溶性浸出物、总灰分和酸不溶性灰分，主成分2的特征值为1.233，贡献率为9.484%，代表性指标为山楂酸，这2项主成分能够代表13个指标的绝大部分信息。采用系统聚类法，以13个指标的含量数据为变量进行聚类分析，结果见图2。

2.3.2 正交偏最小二乘法-判别分析（OPLS-DA）[21]

表3 不同产地凌霄花中10种成分的含量测定结果（n=3）

成分	含量/mg·g^{-1}																	
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16	S17	S18
毛蕊花糖苷	1.935	1.796	1.867	2.004	1.722	1.651	1.219	1.411	1.563	1.350	1.463	1.527	1.249	1.102	1.048	1.077	1.015	1.053
异麦角甾苷	0.663	0.688	0.639	0.715	0.614	0.549	0.384	0.408	0.424	0.509	0.456	0.484	0.523	0.326	0.298	0.309	0.244	0.270
芹菜素	0.580	0.496	0.716	0.538	0.483	0.630	0.593	0.667	0.906	0.800	0.757	0.837	0.869	0.605	0.832	0.820	0.981	0.860
木犀草素	0.495	0.520	0.543	0.617	0.568	0.468	0.439	0.414	0.284	0.342	0.391	0.332	0.304	0.329	0.251	0.247	0.230	0.263
槲皮素	1.485	1.447	1.381	1.566	1.618	1.322	0.971	1.129	0.731	0.920	1.076	0.867	0.786	0.942	0.525	0.511	0.505	0.450
鼠李柠檬素	0.197	0.208	0.191	0.178	0.218	0.225	0.231	0.248	0.234	0.262	0.270	0.279	0.248	0.283	0.328	0.319	0.346	0.336
山楂酸	0.113	0.107	0.100	0.093	0.088	0.083	0.136	0.171	0.147	0.155	0.162	0.144	0.136	0.118	0.118	0.132	0.124	0.119
常春藤皂苷元	1.157	1.129	1.234	1.195	1.071	1.101	0.832	0.898	1.016	0.956	0.926	1.011	0.958	0.787	0.776	0.807	0.748	0.719
齐墩果酸	2.224	2.324	2.181	2.383	2.274	2.120	1.761	1.601	1.805	1.682	1.722	1.808	1.589	1.430	1.494	1.530	1.444	1.388
熊果酸	2.933	3.647	3.091	3.534	3.282	3.186	2.287	2.481	2.340	2.725	2.537	2.621	2.917	1.707	2.082	2.336	2.147	1.994

表4 凌霄花中水溶性浸出物、总灰分和酸不溶性灰分（%，n=2）

项目	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16	S17	S18
水溶性浸出物	37.3	39.2	41.8	38.1	42.2	41.7	35.3	36.9	33.1	35.8	34.2	32.6	33.7	29.1	27.5	30.2	28.4	29.9
总灰分	3.8	4.9	5.1	4.6	5.4	5.8	5.4	5.2	4.1	6.7	5.3	4.6	6.2	7.6	8.4	8.9	7.3	7.1
酸不溶性灰分	0.8	0.6	0.7	0.9	1.0	1.3	1.4	1.7	0.8	1.4	1.6	1.1	1.2	2.3	1.8	1.6	2.1	2.4

表5　各指标的特征值和累积贡献率

项目	主成分1	主成分2
特征值	10.107	1.233
方差贡献率/%	77.747	9.484
累积方差贡献率/%	77.747	87.231
毛蕊花糖苷	0.963	0.138
异麦角甾苷	0.966	0.072
芹菜素	−0.736	0.452
木犀草素	0.939	−0.208
槲皮素	0.948	−0.152
鼠李柠檬素	−0.945	−0.117
山楂酸	−0.488	0.720
常春藤皂苷元	0.951	0.161
齐墩果酸	0.975	−0.076
熊果酸	0.903	−0.009
水溶性浸出物	0.911	−0.040
总灰分	−0.758	−0.499
酸不溶性灰分	−0.848	−0.351

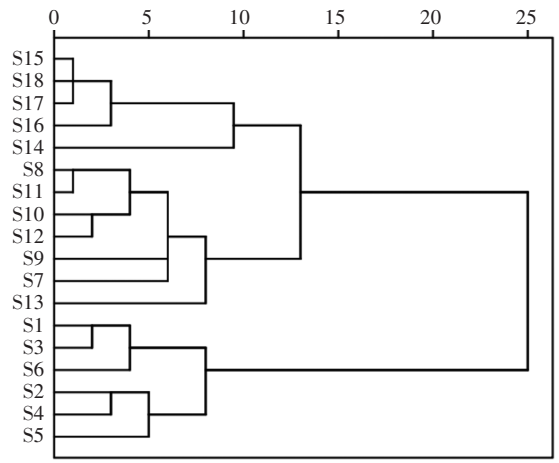
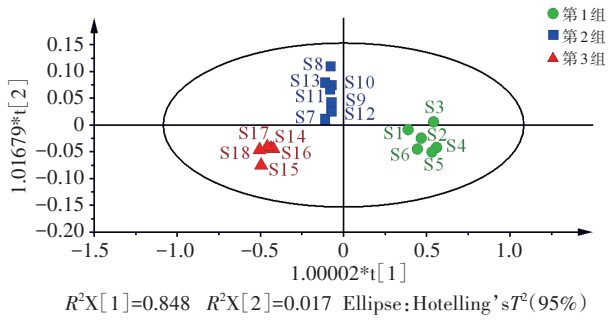


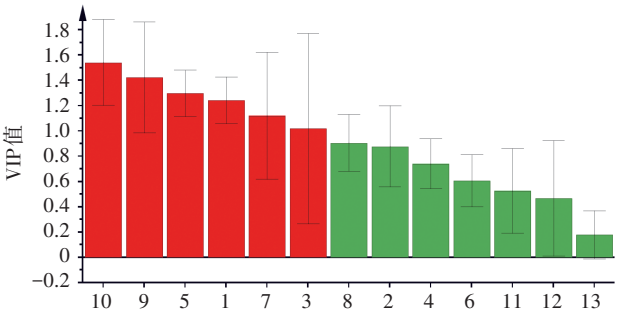
图2　13个指标的聚类分析图

利用SIMCA 14.1软件对13个指标含量数据进行OPLS-DA，并绘制散点得分图，见图3。OPLS-DA得分图可清晰看出，18批样品分为3大类，其中江苏和浙江为一类，河南、河北和山东的为一类，广东和福建的为一类，分类情况与聚类分析一致，表明该模型可以将不同产地的凌霄花分离。同时该模型解释能力(R^2X)为0.984，判别能力(R^2Y)为0.893，预测能力(Q^2)为0.722，表明该模型具有较高的可靠性和预测性。进一步分析各指标的变量重要性投影(VIP)值，以1.0为VIP的阈值，从13个指标中筛选出6个差异标志物：成分10(熊果酸，VIP=1.544 1)、成分9(齐墩果酸VIP=1.424 7)、成分5(槲皮素，VIP=1.299 7)、成分1(毛蕊花糖苷，VIP=1.244 7)、成分7(山楂酸VIP=1.122 2)、成分3(芹菜素，VIP=1.021 0)。



$R^2X[1]=0.848$　$R^2X[2]=0.017$　Ellipse：Hotelling's $sT^2(95\%)$

图3　不同产地凌霄花的OPLS-DA散点得分图



注：1.毛蕊花糖苷；2.异麦角甾苷；3.芹菜素；4.木犀草素；5.槲皮素；6.鼠李柠檬素；7.山楂酸；8.常春藤皂苷元；9.齐墩果酸；10.熊果酸；11.水溶性浸出物；12.总灰分；13.酸不溶性灰分。

图4　不同产地凌霄花中13个指标的VIP值

2.4　灰色关联度分析(GRA)[22]

2.4.1　原始数据无量纲化处理　18批凌霄花中13个指标含量的原始数据采用均值化处理方式。即利用公式 $Yij=\frac{Zij}{Zvj}$（Z_{ij}为13个评价指标含量数据，Z_{ij}为各评价指标含量数据的均值）对18批凌霄花中各指标含量原始数据进行无量纲化处理，处理结果见表6。

2.4.2　样品质量优劣排序[23]　根据处理后的矩阵数据确定最优参考序列与最差参考序列。按照公式 $C^i_{j(b)}=\frac{\Delta\min+\rho\Delta\max}{|Yij-Ybj|+\rho\Delta\max}$、$C^i_{j(s)}=\frac{\Delta'_{\min}+\rho\Delta'_{\max}}{|Yij-Ysj|+\rho\Delta'_{\max}}$（式中 $\Delta_{min}=\min|Y_{ij}-Y_{bj}|$、$\Delta_{\max}=\max|Y_{ij}-Y_{bj}|$、$\Delta'_{\min}=\min|Y_{ij}-Y_{sj}|$、$\Delta'_{\max}=\max|Y_{ij}-Y_{sj}|$，$\rho=0.5$）计算最优参考序列关联系数($C^i_{j(b)}$)、最差参考序列关联系数($C^i_{j(s)}$)。再按照公式 $R_{i(b)}=\frac{1}{18}\sum_{j=1}^{18}C^i_{j(b)}$、$R_{i(s)}=\frac{1}{18}\sum_{j=1}^{18}C^i_{j(s)}$ 计算最优参考序列的关联度、最差参考序列的关联度。最后按照公式 $R_i=\frac{R_{i(b)}}{R_{i(b)}+R_{i(s)}}$ 计算相对关联度，并对18批凌霄花样品质量优劣进行排序，结果见表7。

表6　18批凌霄花中各样本数列无量纲化处理结果

样品编号	毛蕊花糖苷	异麦角甾苷	芹菜素	木犀草素	槲皮素	鼠李柠檬素	山楂酸	常春藤皂苷元	齐墩果酸	熊果酸	水溶性浸出物	总灰分	酸不溶性灰分
S1	1.337 0	1.403 5	0.804 9	1.266 3	1.466 1	0.770 7	0.905 4	1.202 3	1.222 0	1.103 4	1.070 9	0.643 0	0.583 9
S2	1.240 9	1.456 4	0.688 3	1.330 3	1.428 6	0.813 8	0.857 4	1.173 2	1.276 9	1.372 0	1.125 5	0.829 1	0.438 0
S3	1.290 0	1.352 7	0.993 6	1.389 1	1.363 4	0.747 3	0.801 3	1.282 3	1.198 4	1.162 8	1.200 1	0.862 9	0.510 9
S4	1.384 6	1.513 5	0.746 6	1.578 4	1.546 1	0.696 4	0.745 2	1.241 8	1.309 3	1.329 5	1.093 9	0.778 3	0.656 9
S5	1.189 8	1.299 7	0.670 3	1.453 1	1.597 4	0.852 9	0.705 1	1.113 0	1.249 5	1.234 7	1.211 6	0.913 7	0.729 9
S6	1.140 7	1.162 2	0.874 3	1.197 2	1.305 2	0.880 3	0.665 1	1.144 1	1.164 8	1.198 6	1.197 2	0.981 4	0.948 9
S7	0.842 3	0.812 9	0.822 9	1.123 0	0.958 6	0.903 8	1.089 7	0.864 6	0.967 6	0.860 4	1.013 5	0.913 7	1.021 9
S8	0.974 9	0.863 7	0.925 6	1.059 1	1.114 6	0.970 3	1.370 2	0.933 2	0.879 7	0.933 3	1.059 4	0.879 9	1.240 9
S9	1.079 9	0.897 5	1.257 3	0.726 5	0.721 7	0.915 5	1.177 9	1.055 8	0.991 8	0.880 3	0.950 3	0.693 7	0.583 9
S10	0.932 8	1.077 5	1.110 2	0.874 9	0.908 3	1.025 0	1.242 0	0.993 5	0.924 2	1.025 1	1.027 8	1.133 7	1.021 9
S11	1.010 8	0.965 3	1.050 5	1.000 3	1.062 3	1.056 3	1.298 1	0.962 3	0.946 2	0.954 4	0.981 9	0.896 8	1.167 9
S12	1.055 1	1.024 6	1.161 5	0.849 3	0.856 0	1.091 5	1.153 8	1.050 6	0.993 4	0.986 0	0.936 0	0.778 3	0.802 9
S13	0.863 0	1.107 1	1.205 9	0.777 7	0.776 0	0.970 3	1.089 7	0.995 5	0.873 1	1.097 4	0.967 6	1.049 1	0.875 9
S14	0.761 4	0.690 1	0.839 6	0.841 6	0.930 0	1.107 2	0.945 5	0.817 8	0.785 7	0.642 2	0.835 5	1.286 0	1.678 8
S15	0.724 1	0.630 8	1.154 6	0.642 1	0.518 3	1.283 3	0.945 5	0.806 4	0.820 9	0.783 2	0.789 5	1.421 3	1.313 9
S16	0.744 1	0.654 1	1.137 9	0.631 9	0.504 5	1.248 0	1.057 7	0.838 6	0.840 7	0.878 8	0.867 1	1.505 9	1.167 9
S17	0.701 3	0.516 5	1.361 4	0.588 4	0.498 6	1.353 7	0.993 6	0.777 3	0.793 4	0.807 7	0.815 4	1.235 2	1.532 8
S18	0.727 6	0.571 5	1.193 4	0.672 8	0.444 3	1.314 6	0.953 5	0.747 2	0.762 6	0.750 1	0.858 5	1.201 4	1.751 8

表7　18批凌霄花质量排序

编号	R_i	排序	编号	R_i	排序
S1	0.521 8	6	S10	0.497 0	7
S2	0.540 0	4	S11	0.495 6	8
S3	0.553 5	2	S12	0.475 2	10
S4	0.568 4	1	S13	0.464 7	11
S5	0.543 4	3	S14	0.406 1	18
S6	0.525 8	5	S15	0.406 2	17
S7	0.433 2	13	S16	0.430 5	14
S8	0.489 0	9	S17	0.416 7	15
S9	0.442 5	12	S18	0.408 2	16

3　讨论

本研究考察了不同提取溶剂（50%甲醇、70%甲醇和甲醇）和不同提取时间（20、30、40、50 min）对毛蕊花糖苷、异麦角甾苷、芹菜素、木犀草素、槲皮素、鼠李柠檬素、山楂酸、常春藤皂苷元、齐墩果酸和熊果酸提取效率的影响，结果70%甲醇超声30 min的综合提取效率显著优于其他条件。系统还优化了色谱检测分析流程，以甲醇和乙腈为有机相，不同浓度的磷酸溶液为水相，对比不同色谱条件下色谱峰峰形及分离情况。以乙腈-0.2%磷酸溶液体系得到的色谱峰信息良好。

本试验对不同产地凌霄花中13个指标含量进行了检测，发现不同产地凌霄花质量存在一定的差异，各指标含量的最大值与最小值相差超过1.5倍，槲皮素含量的最大值是最小值的3.6倍。为直观体现18批凌霄花质量的差异性，结合数学评价模型，对不同产地凌霄花的质量进行了客观评价，计算不同产地凌霄花质量排名，比以往采用单一性指标评价中药材质量更具全面性、客观性。本研究采用化学计量学与灰色关联度分析法相结合的方法，进行了方法间的相互佐证：化学计量学显示18批不同产地凌霄花分为3大类，相邻产地的样品聚为一组，寻找出对凌霄花质量影响较大的6个成分，影响程度从大到小依次为熊果酸、齐墩果酸、槲皮素、毛蕊花糖苷、山楂酸和芹菜素，灰色关联度分析法计算的18批不同产地凌霄花的排名显示江苏和浙江产地的凌霄花整体质量较好。

本研究建立的凌霄花药材中多指标定量方法简便准确，可用于凌霄花的全面质量控制。构建的质量评价体系评价了不同产地凌霄花质量，方法科学客观，为凌霄花质量评价提供参考。

参考文献

[1] 王燕，李颖，叶桦珍，等. 近红外光谱和支持向量机用于凌霄花产地鉴别[J]. 福州大学学报（自然科学版），2022，50(4)：568-573.

[2] 陈和，林方芬. 不同产地凌霄花中齐墩果酸和熊果酸含量比较研究[J]. 新中医，2019，51(2)：1-3.

（下转第314页）

[15] Mouton J W A, De Clercq A, De Paepe P, *et al*. Pharmacokinetics and target attainment of teicoplanin: a systematic review[J]. Clin Pharmacokinet, 2025, 64(4): 467-509.
[16] Yamada T, Emoto C, Fukuda T, *et al*. Optimal teicoplanin dosing regimen in neonates and children developed by leveraging real-world clinical information[J]. Ther Drug Monit, 2022, 44(3): 404-413.
[17] Zhang X S, Chen Y L, Wang Y Z, *et al*. Model-based dosing optimization and therapeutic drug monitoring practices of teicoplanin in patients with complicated or non-complicated methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* infection[J]. Br J Clin Pharmacol, 2024, 90(2): 452-462.
[18] Ogawa R, Kobayashi S, Sasaki Y, *et al*. Population pharmacokinetic and pharmacodynamic analyses of teicoplanin in Japanese patients with systemic MRSA infection[J]. Int J Clin Pharmacol Ther, 2013, 51(5): 357-366.
[19] Fu W Q, Tian T T, Zhang M X, *et al*. Population pharmacokinetics and dosing optimization of unbound teicoplanin in Chinese adult patients[J]. Front Pharmacol, 2022, 13: 1045895.
[20] Verbeeck R K, Musuamba F T. Pharmacokinetics and dosage adjustment in patients with renal dysfunction[J]. Eur J Clin Pharmacol, 2009, 65(8): 757-773.
[21] Olyaei A J, Steffl J L. A quantitative approach to drug dosing in chronic kidney disease[J]. Blood Purif, 2011, 31(1-3): 138-145.
[22] Ueda T, Takesue Y, Nakajima K, *et al*. Clinical efficacy and safety in patients treated with teicoplanin with a target trough concentration of 20 μg/mL using a regimen of 12 mg/kg for five doses within the initial 3 days[J]. BMC Pharmacol Toxicol, 2020, 21(1): 50.

（收稿日期：2026-02-06；在线出版日期：2026-03-10）

（上接第275页）

[3] 叶晓萌，王保国，张春燕，等. 凌霄花总三萜的超声辅助提取工艺优化[J]. 济宁医学院学报，2024，47(5)：373-376.
[4] 徐正龙. HPLC法同时测定凌霄花中常春藤皂苷元、齐墩果酸和熊果酸的含量[J]. 中国处方药，2020，18(11)：23-24.
[5] 郑茜，杨俊，张富贵，等. 凌霄花多酚微波提取工艺优化及其抗氧化研究[J]. 化学试剂，2021，43(9)：1275-1280.
[6] 袁向科，江瑞. 加味凌霄花散对血栓闭塞性脉管炎术后患者的疗效及凝血功能的影响[J]. 中药药理与临床，2020，36(4)：196-200.
[7] Yu H C, Wu J, Zhang H X, *et al*. Antidepressant-like and anti-oxidative efficacy of *Campsis grandiflora* flower[J]. J Pharm Pharmacol, 2015, 67(12): 1705-1715.
[8] 方晓艳，栗俞程，刘丹丹，等. 凌霄花总黄酮对脑缺血大鼠脑组织中炎性因子及趋化因子的影响[J]. 中华中医药杂志，2016，31(9)：3481-3483.
[9] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典-一部：2020年版[M]. 北京：中国医药科技出版社，2020：299.
[10] 金晓琴，沈建飞，盛一梁，等. 凌霄花化学及临床应用研究进展[J]. 中国处方药，2021，19(2)：18-20.
[11] 江灵礼，苗明三. 凌霄花化学、药理及临床应用特点探讨[J]. 中医学报，2014，29(7)：1016-1018.
[12] 王燕. HPLC法测定不同产地不同部位凌霄花中麦角甾苷的含量[J]. 福建分析测试，2018，27(6)：52-55.
[13] 张桥，沈娟，柳于介，等. 高效液相色谱法测定中药凌霄花中麦角甾苷、齐墩果酸和熊果酸含量[J]. 中国中药杂志，2011，36(8)：1043-1045.
[14] 晏明英，魏谭军，赵丹，等. 基于化学计量学及熵权TOPSIS分析联合多组分定量的麸炒苍术综合质量评价[J]. 中医药导报，2023，29(9)：55-62.
[15] Brereton R G. Pattern recognition in chemometrics[J]. Chemom Intell Lab Syst, 2015, 149: 90-96.
[16] 王少卿，孙慧珠，苏建，等. 基于指纹图谱结合化学计量学分析枣仁安神液质量及主要成分含量测定研究[J]. 中国新药杂志，2025，34(13)：1438-1447.
[17] 林钦贤，梁伟龙，王斌，等. 基于灰色关联分析法评价广藿香药材质量[J]. 安徽农业科学，2020，48(2)：213-218.
[18] 王京城，孙洪兵，刘腾，等. 基于特征图谱结合化学计量学与熵权-灰色关联度分析的栽培羌活最佳采收期研究[J]. 中国中药杂志，2025，50(14)：3878-3886.
[19] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典-四部：2020年版[M]. 北京：中国医药科技出版社，2020：232，234.
[20] 费丹，周瑶敏，谢敏，等. 基于主成分和灰色关联度分析对弋阳大禾谷营养品质的综合评价[J]. 农产品质量与安全，2025(1)：35-40.
[21] 张娇，田恒，林涛，等. 基于UPLC的云南贵州灯盏细辛产地识别研究[J]. 国际中医中药杂志，2025，47(3)：364-371.
[22] 吴笛，蔺晓源，刘凯，等. 基于灰色关联度分析和偏最小二乘回归辨识款冬花止咳活性成分[J]. 中南大学学报(医学版)，2024，49(3)：435-446.
[23] 邹萌，陈小红，陆英，等. 基于灰色关联分析的芍药产地初加工条件优化[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版)，2022，48(6)：749-754.

（收稿日期：2025-07-23；在线出版日期：2026-02-05）